



**João Victor Moraes Arruda**

**Formação de células de manufatura: desenvolvimen-  
tos a partir da matriz de processamento expandida.**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Paulo Roberto Tavares Dalcol  
Co-orientador: Prof. Rogério Odivan Brito Serrão

Rio de Janeiro  
Junho de 2011



**João Victor Moraes Arruda**

## **Formação de células de manufatura: desenvolvimentos a partir da matriz de processamento expandida.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Paulo Roberto Tavares Dalcol**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Prof. Rogério Odivan Britto Serrão**

Co-orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Prof. João Orlando Rodrigues de Menezes**

Rio Consulting Group

**Prof. Valéria Campos Gomes de Souza Miccuci**

Centro de Análise de Sistemas Navais na Marinha do Brasil

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico e Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 10 de junho de 2011

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **João Victor Moraes Arruda**

Graduou-se em Engenharia de Produção pela Universidade da Amazônia, em Belém – PA. Durante a graduação, estagiou na empresa Artecon – Artefatos de Concreto, prestando serviços em controle das atividades de manutenção da empresa. Depois de graduado, ingressou no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio para obtenção do título de Mestre.

### **Ficha Catalográfica**

Arruda, João Victor Moraes

Formação de células de manufatura: desenvolvimentos a partir da matriz de processamento expandida / João Victor Moraes Arruda ; orientador: Paulo Roberto Tavares Dalcol ; co-orientador: Rogério Odivan Brito Serrão. – 2011.

79 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Formação de células e manufatura. 3. Sistemas de manufatura celular. 4. Método do melhor caminho. I. Dalcol, Paulo Roberto Tavares. II. Serrão, Rogério Odivan Brito. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

O único homem que está isento de erros,  
é aquele que não se arrisca acertar.  
Albert Einstein.

## Agradecimentos

Aos meus pais João de Luna e Suelda Clery, pelo orgulho que sinto deles, por todo o afeto, dedicação ilimitada, suporte emocional que me deram e paciência que tiveram.

As minhas irmãs Thaís e Beatriz Arruda, pela atenção, carinho e companheirismo incondicionais.

Ao meu orientador professor Paulo R. T. Dalcol pelo profissionalismo, pela grande dedicação com a qual conduziu o trabalho, pelo ensinamento transmitido, atenção e paciência.

Ao meu co-orientador professor Rogério Serrão pelo profissionalismo, pela dedicação ao trabalho, pelo conhecimento transmitido, atenção e paciência.

Aos membros da banca professor João Orlando Menezes e professora Valéria Miccuci pela contribuição crítica ao trabalho.

Aos amigos Beatriz Pancieri, Ana Carla Silva, Gustavo Brandão, Antonio Ricardo, Denílson, David Carrilo, Anaglória Lima, Franck Azevedo, Heloísa Santos e Nayara Nogueira por compartilharmos juntos essa jornada, pelos estudos em grupo e companheirismo.

Aos amigos Domingos M. Júnior, Dário Magalhães e Ludy Pacheco pela grande convivência, parceria e amizade ao longo desse período.

A Dário Santos e Antônia Clery pelo suporte, apoio e confiança.

A Fabiana Canavieira pelo incentivo, apoio e amizade.

Aos meus familiares e amigos que sempre apoiaram, mesmo à distância.

Ao corpo docente do Departamento de Engenharia Industrial da PUC.

A CAPES pelo suporte financeiro.

A Deus.

## Resumo

Arruda, João Victor Moraes; Dalcol, Paulo Roberto Tavares (orientador); Serrão, R. O. B. (co-orientador). **Formação de células de manufatura: desenvolvimentos a partir da matriz expandida**. Rio de Janeiro, 2011. 79 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O Sistema de Manufatura Celular (SMC) foi introduzido na década de setenta como um novo sistema de produção em alternativa ao Sistema de Produção em Massa. Revolucionou chãos de fábricas implementando um novo conceito de produção que prezasse pela flexibilidade de manufatura, pequenos lotes para um mix maior de produtos e utilizando produção em células. O processo de formação de células, como uma ferramenta da Tecnologia de Grupo, passou a ser um importante objeto de estudo do SMC, com a criação de diversos métodos de obtenção, entre estes o baseado em arranjo matricial. A dissertação teve por objetivo segmentar as formas de obtenção de células de manufatura, através de um fluxograma capaz de nortear e classificar a matriz de processamento quanto a sua característica e elaborar uma estrutura que contemplasse os algoritmos binários destinados a este fim, com informações adicionais a partir da chamada matriz de processamento expandida. Entre estas informações adicionais, estão os dados de seqüenciamento da produção, tempo de processamento das peças pelas máquinas, demanda, capacidade produtiva e quantidade de máquinas envolvidas no sistema. Além disso, a criação do Método do Melhor Caminho proporcionou ao trabalho um novo rumo aos algoritmos heurísticos formadores de células de produção por matriz, visto que conseguiu agregar a estruturação do layout das células obtidas, tornando o sistema mais completo.

## Palavras-chave

Formação de células de manufatura; Sistema de Manufatura Celular; Método do Melhor Caminho.

## Abstract

Arruda, João Victor Moraes; Dalcol, Paulo Roberto Tavares (advisor); Serrão, R. O. B. (co-advisor). **Manufacturing cell formation: developments from an expanded machine-part matrix**. Rio de Janeiro, 2011. 79 p. M. Sc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Cellular Manufacturing System was introduced in the seventies as a new production system and an alternative to Mass Production System. Revolutionized shop floors implementing a new production concept that considered manufacturing flexibility, small batches productions to a diversified mix of products and used in the CMS. The process of cell formation became an important object of study of CMS. Several methods were developed, among them the array-based method. The thesis aims to segment the ways of obtaining manufacturing cells using a flow chart that guides and processing sort arrays according to their characteristics and develops a structure to encompass the binary algorithms designated for this purpose. Additional information is added to the array of data among this additional information, there are operations with process sequencing data, parts processing times by machines, parts demand, production capacity and number of machines involved in the system. Furthermore, the creation of the Best Path Method provided a new direction to the forming cell production heuristic algorithms by array-based methods, since the structure was able to add the layout of the cells obtained, making the system more comprehensive.

## Keywords

Manufacturing cell formation; Cellular Manufacturing System; Best Path Method.

# SUMÁRIO

1	Introdução	12
1.1	Relevância e Justificativa do Tema	15
1.2	Formulação do Problema	16
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos	17
1.4	Limitações do Trabalho	17
1.5	Metodologia Aplicada	18
1.6	Estrutura do Trabalho	18
2	Métodos de Formação de Células baseado em Arranjo Matricial	19
2.1	Método do Agrupamento por Ordenação (Rank Order Clustering – Roc)	20
2.2	Método de Análise de Agrupamento Direto (Direct Clustering Analysis- Dca)	23
2.3	Método do Algoritmo de Identificação de Agrupamento (Cluster Identification Algorithm – Cia)	25
2.4	Indicadores De Desempenho	29
2.4.1	Percentual de elementos de exceção - %EE (Exceptional Elements)	29
2.4.2	Percentual de utilização de máquinas - %MU (Machine Utilization)	30
2.4.3	Eficiência de agrupamento - %GE (Grouping Efficiency)	31
3	Fluxograma para Formação de Células de Produção a partir da Matriz de Processamento Expandida	33
3.1	Fluxograma para a Matriz de Processamento Expandida	35
3.2	Descrição do Fluxograma	36
3.2.1	Matriz de processamento	37
3.2.2	Aplicação do algoritmo binário	37
3.2.3	Verifica a existência de elementos de exceção na matriz expandida	39
3.2.4	Estrutura Bloco Diagonal sem elementos de exceção	39
3.2.5	Cálculo do número de máquinas	40
3.2.6	Método do Melhor Caminho	42
3.2.7	Definição do layout interno celular	45
3.2.8	Estrutura bloco diagonal com elementos de exceção	46
3.2.9	Cálculo do percentual de Elementos de Exceção (%EE)	47
3.2.10	Decisão de descartar a matriz	48
3.2.11	Decisão de minimizar o fluxo intercelular realocando máquinas	49
3.2.12	Realocar máquinas	50
4	Exemplos de Aplicações da Matriz Expandida	53
4.1	Estrutura Bloco Diagonal sem Elementos de Exceção	53
4.2	Estrutura Bloco Diagonal com Elementos de Exceção sem Realocar Máquinas	62
4.3	Estrutura Bloco Diagonal com Elementos de Exceção Realocando Máquinas	70
5	Considerações Finais	75
6	Referencial Bibliográfico	78



## Lista de Tabelas

Tabela 1. Tabela de fluxos consecutivos sem preenchimento.....	43
Tabela 2. Tabela de fluxos consecutivos preenchida. ....	44
Tabela 3. Método do Melhor Caminho para o exemplo da EBD perfeita.....	59
Tabela 4. Método do Melhor Caminho para o exemplo da EBD com elementos de exceção. ....	69
Tabela 5. Método do Melhor Caminho para o exemplo da EBD com elementos de exceção realocando máquinas. ....	73

## Lista de Figuras

Figura 1. Categorias de abordagens na formação de células de produção. Fonte: Joines <i>et al.</i> (1993) <i>apud</i> Ribeiro Filho (1998, p. 2). .....	13
Figura 2. Exemplo passo 1 do ROC. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	21
Figura 3. Exemplo passo 2 do ROC. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	21
Figura 4. Exemplo passo 3 do ROC. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	22
Figura 5. Exemplo passo 4 do ROC. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	22
Figura 6. Exemplo passo 5 do ROC. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	23
Figura 7. Exemplo do passo 1 do DCA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	23
Figura 8. Exemplo do passo 2 do DCA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	24
Figura 9. Exemplo do passo 3 do DCA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	24
Figura 10. Exemplo do passo 4 do DCA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	24
Figura 11. Exemplo do passo 5 do DCA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	25
Figura 12. Exemplo do passo 6 do DCA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	25
Figura 13. Exemplo do passo 1 do CIA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	26
Figura 14. Exemplo do passo 2 do CIA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	26
Figura 15. Exemplo do passo 3 do CIA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	27
Figura 16. Exemplo do passo 4 do CIA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	27
Figura 17. Exemplo do passo 5 do CIA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	27
Figura 18. Exemplo do passo 6 do CIA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	28
Figura 19. Exemplo do passo 7 do CIA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	28
Figura 20. Exemplo do passo 8 do CIA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	28
Figura 21. Exemplo do passo 9 do CIA. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	28
Figura 22. Exemplo de matriz final com elementos de exceção. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	30
Figura 23. Diferença de sintaxe entre uma matriz binária e uma matriz expandida. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	34
Figura 24. Indicação do seqüenciamento e tempo de processamento na matriz. ...	35
Figura 25. Fluxograma da matriz de processamento expandida. ....	36
Figura 26. Matriz inicial e matriz final da matriz de processamento expandida. ...	38
Figura 27. EBD sem elementos de exceção. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	39
Figura 28. EBD com nível de processamento da demanda das peças pela capacidade de produção. ....	41
Figura 29. Matriz final expandida com o somatório do nível de processamento e quantidade de máquinas para cada tipo. ....	42
Figura 30. Exemplo para formação do Método do Melhor Caminho. ....	43
Figura 31. Layout celular para a matriz da Figura 30. ....	46
Figura 32. Matriz de EBD com elementos de exceção. ....	47
Figura 33. Exemplo de matriz com realocação de máquinas. ....	51
Figura 34. Ramo do fluxograma para a EBD sem elementos de exceção. ....	54
Figura 35. Matriz inicial 8x20 para EBD perfeita. ....	55
Figura 36. Matriz com passo 1 do ROC para o exemplo da EBD perfeita. ....	56
Figura 37. Matriz com os passos 2 e 3 do ROC para o exemplo da EBD. ....	57
Figura 38. Matriz 8x20 final para a EBD perfeita. ....	58
Figura 39. EBD perfeita com o cálculo do número de máquinas. ....	59
Figura 40. Layout interno das células 1 e 2 para o exemplo da EBD perfeita. ....	61
Figura 41. Ramo do fluxograma com elementos de exceção sem realocar máquinas. ....	62
Figura 42. Matriz inicial para o exemplo da EBD com elementos de exceção. ....	63

Figura 43. Matriz com o passo 1 do ROC para o exemplo da EBD com elementos de exceção. ....	64
Figura 44. Matriz com os passos 2 e 3 do ROC para o exemplo de EBD com elementos de exceção. ....	65
Figura 45. Matriz com o passo 1 refeito para o exemplo de EBD com elementos de exceção. ....	66
Figura 46. Matriz final 8x20 para EBD com elementos de exceção. ....	66
Figura 47. Matriz final de EBD com elementos de exceção com o cálculo do número de máquinas. ....	67
Figura 48. Layout interno das Células 1 e 2 para o exemplo da EBD com elementos de exceção. ....	69
Figura 49. Ramo do fluxograma para a EBD com elementos de exceção em que se realocam máquinas. ....	70
Figura 50. Matriz final com cálculo do número de máquinas para o exemplo da EBD com elementos de exceção em que se realocam máquinas. ....	71
Figura 51. Matriz final com a duplicação da máquina M4. ....	72
Figura 52. Layout interno das Células 1 e 2 para o exemplo da EBD com elementos de exceção em que se realoca máquinas. ....	74