

1 INTRODUÇÃO

A forma de produzir em um ambiente manufatureiro, utilizando um sistema de produção apoiado em uma estrutura de layout celular, começou a surgir com o declínio da produção em massa, visto que a produção em massa não privilegia produção em pequenos lotes, flexibilidade de manufatura e diversidade de produtos. Combinada com a introdução de novas tecnologias que revolucionaram as formas de produção e de organização em um ambiente fabril naquela época, tais tecnologias passaram a difundir o conceito de automação flexível e permitem maior dinamismo no chão de fábrica.

A Tecnologia de Grupo (TG), técnica capaz de identificar e explorar aspectos de similaridade de projeto e de processos de fabricação dos componentes produzidos por uma indústria (Ribeiro Filho, 1998), ganhou relevância nesse cenário, passando a ser uma ferramenta muito difundida do Sistema de Manufatura Celular (SMC).

A TG é definida por Won e Kim (1997) como um conceito ou uma metodologia de trabalho no ambiente fabril capaz de identificar e alinhar produtos com *design* e características de produção semelhantes.

Singh (1993) aponta Mitrofanov (1966) e Burbidge (1971) como os precursores dos conceitos de TG. A partir de Singh (1993) e Malakooti (2004) algumas vantagens da aplicação de Tecnologia de Grupo são apontadas: maior flexibilidade de produção; redução com tempos de movimentação; redução nos tempos de *set-up*; redução de estoques em processo; incremento da qualidade do produto; baixos *lead-times*; redução do uso compartilhado de ferramentas; aumento da produtividade e melhor controle total do processo. E como desvantagens: menor utilização de máquinas eventualmente, e maior investimento em maquinário e ferramentas.

O Sistema de Manufatura Celular, sistema da produção industrial utilizado há mais de quatro décadas, será o objeto de estudo desta dissertação, a partir do desenvolvimento de informações complementares de duas de suas ferramentas: a formação de células de produção e, em segundo plano, a composição do layout

celular.

Chu e Tsai (1990) afirmam que a Manufatura Celular é a aplicação tecnológica em *job-shop* e produção em lotes (*batch-type*), no sentido de ganho econômico, mesmo produzindo em lotes menores que o implantado no Sistema de Produção em Massa. De acordo com Singh (1993), seu principal desafio é decompor o sistema de manufatura em células.

Selim *et al.* (1998) conceituam o processo de formação de células, como:

“A Formação de Células pressupõe que um conjunto de peças identificado é adequado para a fabricação de um grupo específico de máquinas ou tipos de máquinas. Para isso deve existir uma relação básica entre uma peça e um conjunto de máquinas (por exemplo, um roteamento). As peças podem ser atribuídas a essas famílias e toda essa família de produtos será processada por um grupo de máquinas” (SELIM *et al.*, p. 4, 1998).

A literatura indica que existe uma considerável variedade de abordagens e métodos capazes de solucionar o problema de formação de células. A Figura 1 evidencia os diferentes métodos, de acordo com a sua orientação:

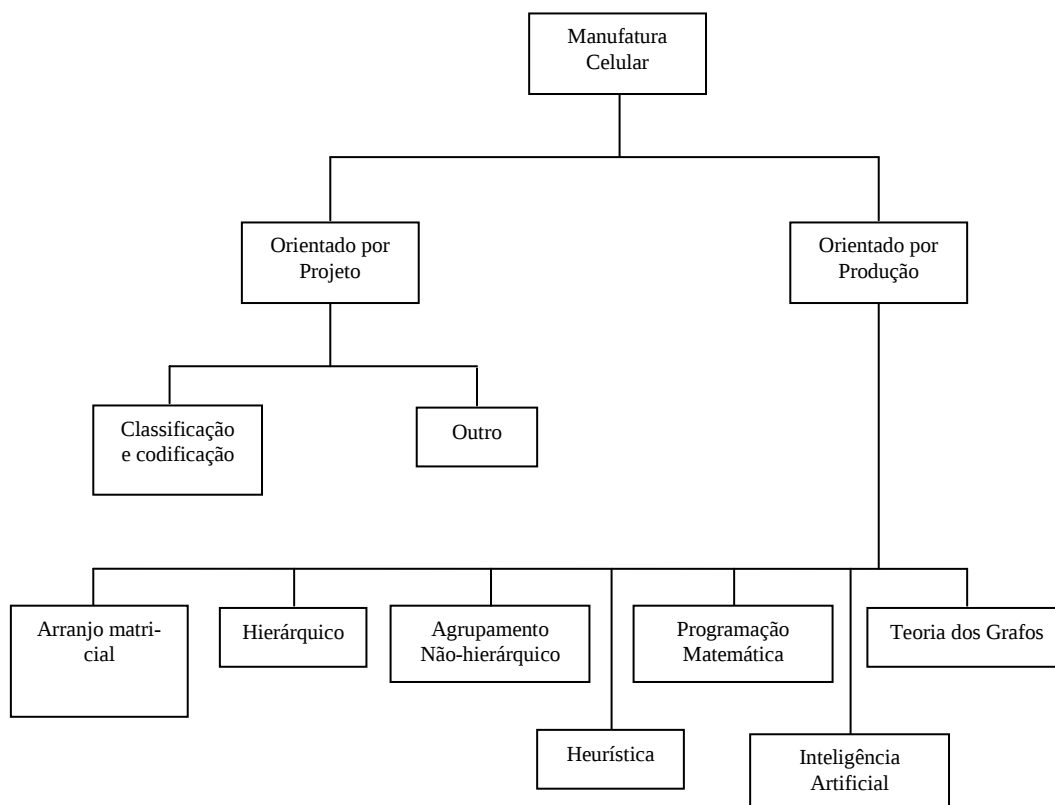


Figura 1. **Categorias de abordagens na formação de células de produção.** Fonte: Joines *et al.* (1993) *apud* Ribeiro Filho (1998, p. 2).

Percebe-se, a partir da Figura 1, que há uma grande diversidade de métodos matemáticos capazes de encontrar as melhores combinações entre máquinas e componentes para produzir em células de produção. A abordagem a ser analisada neste trabalho é a que se baseia em arranjo matricial. Trata-se de um dos mais simples métodos de formação de células orientado pela produção. Os procedimentos associados com esses métodos são realizados permutando linhas e colunas de uma matriz binária até que uma Estrutura Bloco Diagonal (EBD) seja encontrada (Chu e Tsai, 1990). Essa EBD corresponde à matriz final, ou seja, a matriz que já foi processada por um algoritmo, e indica, em ordem diagonal da esquerda para a direita, e em blocos de cima para baixo, as células de produção obtidas.

Os principais métodos de formação de células que utilizam esta abordagem são: o ROC (*Rank Order Clustering*), elaborado por King (1980), o DCA (*Direct Clustering Analysis*), elaborado por Chan e Milner (1982), o CIA (*Cluster Identification Algorithm*), elaborado por Kusiak e Chow (1988), e o BEA (*Bond Energy Algorithm*), elaborado por McCormick *et al.* (1972).

Considerando que o BEA utiliza um mecanismo de obtenção baseado em energia de vinculação, de acordo com a classificação de Chu e Tsai (1990), este método não será considerado na análise dos algoritmos desta dissertação.

O método de formação de células baseado em matriz abrange apenas a formação das células de produção. O que tem sido estudado nesta área, como exemplo as obras de Malakooti (2004) e Mahdavi e Mahadevan (2007), são formas de agregar maiores informações a essa matriz, para que se obtenha mais respaldo na implantação deste sistema de produção.

Os temas a seguir são abordados por diversos autores, como: o seqüenciamento produtivo de cada peça (Mahdavi e Mahadevan, 2007), tempos de processamento nas máquinas (Malakooti, 2004), dados de demanda (Malakooti, 2004), dimensionamento da quantidade de máquinas (Xambre e Vilarinho, 2003), além do fornecimento do layout da célula (Mahdavi e Mahadevan, 2007), porém alguns desses algoritmos apresentam um nível elevado de complexidade matemática e computacional, além de atuarem em focos distintos ou apenas considerando um desses fatores a ser incluso nessas matrizes.

O desafio desta dissertação, portanto, está relacionado à criação de uma matriz expandida, que englobe todas essas variáveis (ou o maior número possível) em conjunto, capaz de identificar e classificar o comportamento da matriz, bem

como incluir as informações adicionais com uma abordagem heurística robusta, porém simples e didática, de modo a propiciar análises mais próximas do cotidiano do ambiente fabril.

1.1 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO TEMA

Desde publicações na década de setenta até as mais recentes, a matriz de processamento (nomenclatura também utilizada para a “matriz binária” ou “matriz inicial”) passou por constantes ajustes, e novos mecanismos para agregar valor aos métodos baseados em matriz.

Singh (1993) em sua revisão sobre os sistemas de manufatura celular, afirma que é necessário um aprimoramento das informações acerca de diversos parâmetros. Dentre estes parâmetros podem ser citados: custos, capacidade de processamento de máquinas e ferramentas, influência do seqüenciamento de produção de peças, reparo e retrabalho de máquinas, flexibilidade de roteamento de produção, realocação de máquinas, integração da Tecnologia de Grupo e o *design* funcional de layout celular.

Mahdavi e Mahadevan (2007) afirmam que muitos algoritmos se preocupam apenas com a formação de células, sem levar em consideração a composição final do layout celular. Segundo eles, abordar essa composição poderia otimizar os fluxos baseado no seqüenciamento de produção, além de minimizar desperdícios de movimentação intra e intercelular.

Selim *et al.* (1998) também apontam necessidades de incremento de informações sobre os algoritmos de formação de células de produção, como: flexibilidade de manufatura, introdução de alternativas de roteamento para processamento de peças e trabalhar com limitação de capacidade produtiva de máquinas.

A maioria dos algoritmos pesquisado, entre eles o de Mahdavi e Mahadevan (2007), Xambre e Vilarinho, (2003) que adicionaram informações complementares à matriz de processamento, utilizaram solução computacional mais complexa, muitas vezes mesclando métodos matemáticos como programação inteira e procedimentos heurísticos ou coeficientes de similaridade com heurística.

Considerando esse contexto, muito ainda pode ser feito no tratamento dos algoritmos que utilizam matriz binária. Isto porque as pesquisas apontam que muito tem sido publicado, contudo cada autor foca em uma variável ou tema específi-

co para agregar à matriz, como custo ou seqüenciamento produtivo, por exemplo.

Diante destas constatações, verificou-se a oportunidade da criação de uma matriz expandida capaz de acrescentar informações complementares que, junto de uma proposta de um fluxograma que classifique a matriz quanto à característica da EBD final, seja capaz de agregar valor ao método quanto às suas variações, mensurá-lo por meio de indicador de desempenho, e, ainda, formar o layout das células obtidas.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Os algoritmos de formação de células de manufatura, sob o ponto de vista de arranjo matricial, ainda são temas pesquisados com muita frequência. O que se verificou foi a necessidade de abordar de forma conjunta diversas variáveis que propiciem à matriz resultados mais próximos do ambiente real em uma análise de um sistema manufatureiro.

Por exemplo, Malakooti (2004) trata da formação de células de produção e analisa os tempos de processamento dos componentes nas máquinas, e Ameli e Arkat (2008) propõem além da formação de células, o dimensionamento da quantidade de máquinas. Estes dois estudos geram resultados específicos, atendem seus objetivos, porém um trabalho que possa agregar estas duas informações e algumas outras, no âmbito geral, como análise de tomada de decisão, proporcionaria maior relevância.

Nessa perspectiva, o problema a ser analisado passa pelo desenvolvimento de uma proposta que contemple uma quantidade maior de variáveis, que fogem à simples determinação das células de produção, e enriqueça as informações geradas por uma matriz de processamento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Elaborar uma estrutura de análise, que classifique a matriz de processamento quanto à sua característica em relação ao comportamento da Estrutura Bloco Diagonal, incluindo informações de seqüenciamento de produção, tempos de pro-

cessamento, demanda, capacidade produtiva, quantidade de máquinas e composição do layout celular, de modo a criar uma nova matriz expandida para gerar resultados e análises mais concisas para estudo das células de manufatura.

1.3.2 Objetivos específicos

- Traçar um fluxograma metodológico que indique cada etapa de execução do método de formação de células, respeitando as ramificações que classificam a EBD;
- Reestruturar as informações da matriz de processamento, agregando informações de dados de seqüenciamento de produção, tempos de processamento, demanda, capacidade produtiva de máquinas, calcular o número de máquinas, de modo a criar uma matriz expandida;
- Elaborar um método que permita definir a formação e o layout das células obtidas, tendo por base a matriz expandida proposta.

1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Esta dissertação apresenta alguns aspectos limitantes que devem ser comentados. Trata-se de fatores comuns que podem influenciar no chão de fábrica. Porém, caso fossem levados em consideração, aumentariam o grau de complexidade do modelo proposto e talvez o tornasse inviável de ser aplicado de maneira simples e didática.

No entanto, a ausência destas variáveis não gera impactos que impliquem em não utilizar a estrutura metodológica como uma ferramenta de formação de células e layout celular. Tais variáveis poderiam influenciar a nível operacional na tomada de decisões.

O primeiro fator a ser comentado é o tempo de *set-up* (ou tempo de preparação das máquinas para começar a produzir determinada etapa da peça). Este tempo não foi contemplado para não gerar interferência no tempo de processamento das peças e na capacidade de produção de cada máquina. Outro fator não abordado foi o de mão-de-obra para manipulação das máquinas, por poder ser considerado um fator não determinante, haja vista o grau de automação do sistema que envolve células de fabricação.

O trabalho também não trata do levantamento de custos de qualquer natureza, como: custos de maquinário, de movimentação de ferramentas, hora-extra e etc.

Embora relevantes, a incorporação destes fatores é considerado como oportunidade de melhoria e sugestão de trabalhos futuros sobre o tema.

1.5 METODOLOGIA APLICADA

O trabalho tem como metodologia, do ponto de vista da sua natureza, uma pesquisa aplicada. De acordo com Silva e Menezes (2001), este tipo de pesquisa pode ser traçada com o propósito de gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos.

Sobre a abordagem do problema, trata-se de caráter quantitativo. Algoritmos e métodos matemáticos são aplicados a fim de se obter resultados mensuráveis por indicadores, gerando números que possam ser utilizados para análise e classificação dentro da proposta metodológica do trabalho.

O aspecto metodológico quanto ao objetivo do trabalho, classifica a pesquisa como de caráter exploratório. Busca-se realizar um levantamento bibliográfico acerca do tema, analisá-lo, estabelecer parâmetros de compreensão e exemplificação para ser elaborada uma estrutura metodológica capaz de agregar diferentes métodos, incluir procedimentos novos e, finalmente, construir hipóteses e gerar conclusões sobre o assunto.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além do capítulo de Introdução a estrutura do trabalho ainda contém outros quatro capítulos. O Capítulo 2 trata do referencial bibliográfico, considerando a exposição dos algoritmos baseados em arranjo matricial e os indicadores de desempenho utilizados para medir a eficácia desses algoritmos. O Capítulo 3 expõe a estruturação do fluxograma que determina as etapas pela qual se submeterá a matriz expandida, de acordo com o comportamento da EBD. O Capítulo 4 contém a exemplificação das aplicações apresentadas no Capítulo 3. Por fim, o Capítulo 5 expõe as conclusões e direcionamento para estudos futuros.