



APLICAÇÃO DO “DSM” e “ROC” NA IDENTIFICAÇÃO DE AGRUPAMENTOS EM PRODUTOS AUTOMOTIVOS

Abelardo Nascimento Filho a068540@dac.unicamp.br UNICAMP
Franco Giuseppe Dedini dedini@fem.unicamp.br UNICAMP

Resumo

A crescente necessidade de novos lançamentos, e uma maior variedade de produtos no mercado levam as empresas a buscarem estratégias de desenvolvimento que possam atender a essa demanda. Ao produzir uma grande variedade de produtos, as indústrias podem se deparar com uma elevação dos custos de design e produção, além de prazos mais longos para implementação de novas variantes.

A utilização de processos que auxiliem na identificação e produção de famílias de produtos através de agrupamento dos componentes em módulos, auxiliam no desenvolvimento e definição de plataformas de produtos, criando e ou identificar arquiteturas modulares, e no desenvolvimento de produtos novos e ou reconfiguração de já existentes com menor custos e tempo de colocação no mercado.

O método da matrizes estruturada de projeto (DSMs) é um meio eficaz de identificar agrupamento e arquiteturas modulares, reorganizando os componentes em módulos, maximizando as interações dentro e minimizadas fora dos agrupamentos “clusters”.

A Tecnologia de Grupo (GT) tem se mostrado importante técnica no aprimoramento da produtividade de sistemas de manufatura em lotes, nas quais tipos diferentes de produtos, de volumes relativamente pequenos, são produzidos em lotes pequenos (WON e LEE, 2001).

Assim este trabalho estuda o aumento da produtividade pelo agrupamento da tecnologia de grupo no processo produtivo e também na redução de desperdícios de movimentação e transporte pela necessidade de rearranjo físico através da identificação de famílias de produtos (DSMs) e agrupamento e ordenação os recursos necessários (rank order clustering – ROC).

Palavras chaves

Plataformas de produtos ,Famílias de produtos , Agrupamento ,DSM,ROC

1. Introdução

Existe atualmente um grande interesse das empresas em buscar estratégias de desenvolvimento mais rápidos e flexíveis de projetos baseados em plataformas e design de família de produtos. Uma plataforma ou família de produtos compartilham um ou mais "elementos" comuns como por exemplo, componentes, módulos, subsistemas, processos de fabricação, operações de montagem, visando atender a uma variedade de diferentes segmentos de mercado.

O produto individual e suas variantes podem ser derivados da plataforma adicionando, ou subtraindo um ou mais elementos da família para criar diferentes produtos baseada em módulos, para obter uma base família de produtos (Jiao et al. 2007). Para obter uma variedade suficiente para o mercado são necessários diferentes famílias de produtos, com diferentes recursos de fabricação, o que exige diferentes combinações de módulos de dimensionamento.

O significado de ser um agrupamento modular "cluster" é que todas as partes dentro do módulo possuem os mesmos relacionamentos uns com os outros do que com peças fora do módulo, isso pode ser pensado como sendo umas das regras de design modular (Baldwin e Clark 2000).

Uma arquitetura totalmente modular é aquela com agrupamentos "clusters" de elementos claros, onde os relacionamentos entre os elementos dentro de uma montagem são ocultados para os que estão fora da montagem. Isso incorpora a noção de que um módulo não apenas contém elementos, mas também contém uma maior densidade de relacionamentos entre esses elementos do que para aqueles que estão fora do módulo (Baldwin e Clark 2000).

2. Referencial teórico

Matriz Estruturada de Design "DSM" (Design Structure Matrix)

Existem na literatura inúmeras descrições que envolvem os princípios para desenvolvimento de um "DSM" Matriz Estruturada de Design, assim uma contextualização é feita com objetivo de promover um melhor entendimento desses assunto e sua aplicação.

A Matriz Estruturada de Design "DSM", é uma ferramenta de modelagem de rede usada para representar os elementos que compõem um sistema e suas interações, destacando assim a sua arquitetura (ou estrutura projetada). O DSM é particularmente adequado para aplicações no desenvolvimento de sistemas de engenharia e tem sido usado até o momento principalmente na área de gerenciamento de engenharia (Steven D. Eppinger; Tyson R. Browning-2012).

A convenção tradicional da matriz DSM original com entradas em linhas (b) e saídas em colunas (a) é chamado de DSM binário porque as marcas fora da diagonal indicam meramente a presença ou ausência de uma interação. Esta matriz pode ser estendida em uma grande variedade de maneiras, incluindo outros atributos e pode ser representada usando um ou mais valores numéricos, símbolos, sombras, ou cores em vez de apenas marcas em cada uma das células fora da diagonal.

Atributos adicionais das interações, como seus nomes, requisitos, são geralmente mantidos em repositórios separados, mas podem ser vinculados às células DSM por meio de números de identificação ou índices (Steven D. Eppinger; Tyson R. Browning-2012-2012).

É importante notar que muitos recursos do DSM usam a convenção oposta, a transposição da matriz, com as entradas de um elemento mostradas em sua coluna e suas saídas mostradas em sua linha. As duas convenções transmitem as mesmas informações, e ambas são amplamente utilizadas por causa das diversas raízes das ferramentas baseadas em matriz para sistemas de modelagem.

A representação binária do DSM pode ser estendida de várias maneiras, incluindo atributos adicionais, como o número de interações e / ou a importância, impacto ou força de cada um que pode ser representado usando um ou mais valores numéricos, símbolos, sombreados, ou cores em vez de apenas as marcas binárias em cada uma das células fora da diagonal.

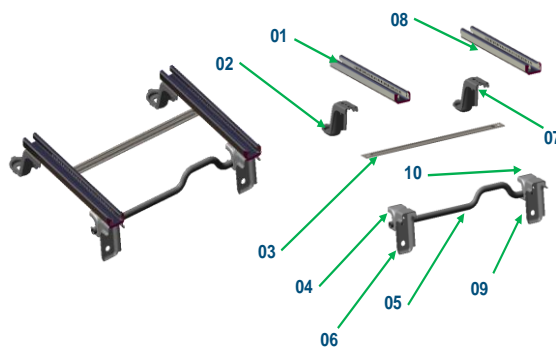
3 Aplicação da Matriz Estruturada de Design “DSM”

O modelo representado na fig.1.0 refere-se a uma matriz de dependência de um produto com 10 elementos na coluna (a), juntamente com a equivalente representação do gráfico direcionado na linha (b) e suas devidas interações entre os componentes.

Os 10 elementos do sistema são rotulados de 1 a 10, assim como as linhas e colunas. Lendo pela linha 4, por exemplo, vemos que o elemento 4 tem entradas dos elementos 5 e 6, representados pelas numero 1. Lendo a coluna 6, vemos que esse elemento tem saídas para o elemento 4. Assim, a marca na célula diagonal [1, 4] representa uma interação que é tanto uma entrada quanto uma saída, dependendo de seu provedor (coluna 4) ou o seu receptor (linha 6).

Figura 1 – Matriz de Dependência do conjunto-A

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
trilho inferior Esq	1	1	1	1			1				
suporte traseiro Esq	2	1	1								
travessa estabilisadora	3	1		1					1		
suporte barra tensao Esq	4				1	1					
barra tensao	5				1	1					1
suporte dianteiro Esq	6	1			1		1				
suporte traseiro Dir	7				1			1	1		
trilho inferior Dir	8			1				1			
suporte dianteiro Dir	9									1	1
suporte barra tensao Dir	10					1				1	1



3.1 Classificação dos elementos

O relacionamento entre os elementos da matriz que representam as interações do DSM são diferente e precisam ter o devido tratamento. A figura 2.0 demonstra, com base no relacionamento de cluster, que os respectivos elementos são divididos em três categorias que são:

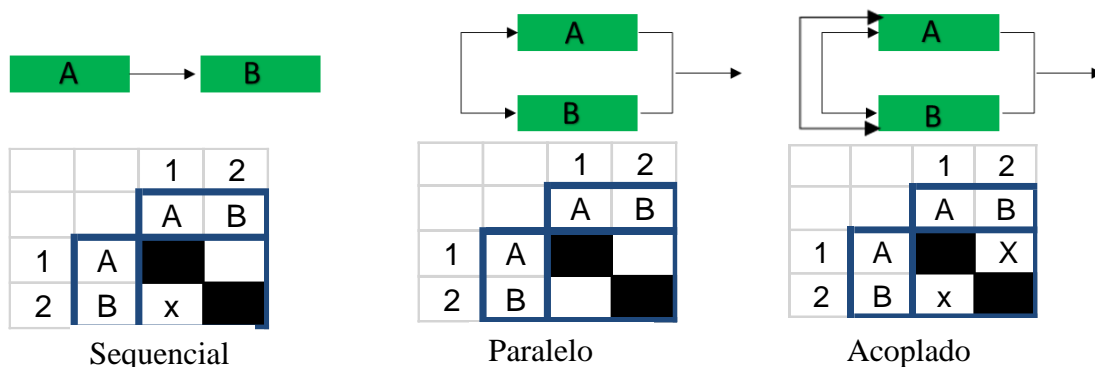
- 1- Elemento sequencial
- 2- Elemento independente ou paralelo
- 3- Elemento acoplado”cluster”.

O elemento independente não tem associação ou muito pouca associação com outros elementos e não pertence a quaisquer clusters.

O elemento de cluster de barramento refere-se aos elementos que têm associação com outros elementos.

Na Fig. 2 é mostrado uma representação básica através de três blocos de construção para descrever o relacionamento entre eles que são : seqüencial (ou dependente) ,paralelo (ou simultâneo) e acoplado (ou interdependente).

Figura 2 – Descrição básica de relacionamento de agrupamento na matriz “DSM”



O DSM binário geralmente usa "1" ou "x" para mostrar um relacionamento existente e "0" ou "espaço" para nenhum relacionamento. Às vezes, o grau de associação entre diferentes elementos são diferentes, e esse relacionamento precisa ser refletido no DSM, que deve conter variedades de a fim de melhor refletir as propriedades do sistema.

A classificação é o cálculo mais básico para a matriz da estrutura de dependência, e é realizado na reorganizar das posições dos elementos de linha e coluna na matriz. Este processo move marcas (ou valores) acima da diagonal para a abaixo da diagonal com o objetivo de reordenar as marcas para que a matriz seja triangular inferior, ou seja, todas as marcas devem estar a abaixo da diagonal, e assim a medida que cada atividade é determinada, todos os seus antecessores ficarião necessariamente à esquerda da diagonal.

3.2 Cálculo do DSM

Movimentação das Linhas e Colunas

A movimentação das linhas e colunas para um modelo DSM da estrutura do produto é realizada por várias etapas de troca de posições do elemento-alvo. É necessário trocar simultaneamente a linha do elemento de destino e elemento da coluna, para garantir que a ordem dos elementos da linha seja consistente com a ordem dos elementos da coluna após a troca de posição,

3.3 Etapas do processo de divisão do módulo de agrupamento “cluster”




A seguir são identificados sete etapas que norteiam a construção básica de um DSM.

Etapa 1: Identificação de associações fracas- O diferente grau de associação entre os elementos da linha e coluna tem diferentes graus de influência na divisão de agrupamento “cluster”. Para diminuir o grau de complexidade da divisão de cluster e impedir a influência indevida do elos fracos sobre os resultados, é necessário considerar temporariamente a força da associação de link fraco igual a 0, antes da divisão de cluster, e retornas o link fraco novamente no modelo após a conclusão do divisão de cluster.

Etapa 2: Identificação e separação de elementos independentes- Nesta etapa é verificado e localizado na estrutura do modelo DSM do produto após a conclusão do rompimento do link fraco, os elementos de valores de célula 0 na linha e coluna da matriz, ou seja, independente elementos. Como elementos independentes não têm links com outros elementos de linha ou elementos da coluna, não há necessidade de divisão de cluster para elementos, e podem ser removidos temporariamente.

Quando a divisão do cluster estiver concluída, o elemento independente poderá ser adicionado de volta aos elementos de linha e coluna no modelo DSM.

Para esse trabalho são definidos os seguintes índices:

- a) Iteração sem possibilidade de Desmontagem - “Solda” 
- b) Iteração com pouca possibilidade de Desmontagem - “Rebite” 
- c) Iteração com possibilidade de Desmontagem - “Parafuso” 

Etapa 3: Transformação de Linha e Coluna- Nesta etapa é necessário movimentar as células diferente de zero na matriz na diagonal o máximo possível.

Etapa 4: Identificação do elemento da classe de barramento- Nesta etapa ocorre a localização dos elementos da classe de barramento que possuem links com a maioria dos outros elementos de linhas e colunas, movendo para o final da fila esses elementos da linha e elementos da coluna para formar o cluster de barramento.

Etapa 5: Divisão de Cluster e Transformação de Linha e Coluna- Nesta etapa ocorre a divisão dos elementos de classe que não fazem parte do barramento em vários clusters interno com intensidade na célula base diferente de zero no modelo DSM definida das 4 etapas anteriores.

Etapa 6: Coloque elementos independentes no topo da fila dos elementos de linha e coluna no modelo DSM.

Etapa 7: Adicionar o link fraco retirado do modelo na etapa-1 ao modelo DSM.

Cálculo de Agrupamento”cluster” DSM

O processo de Agrupamento “clustering” identifica e sub-bloqueia operações interdependentes na matriz DSM, e quanto mais elementos estiverem na matriz, mais complexo são os relacionamentos entre eles.

No entanto, a matriz pode ser dividida em pequenos blocos e a relação de informações entre elementos será concentrada nesses blocos, de modo que esse processo de identificação e sub-bloqueio da operação.

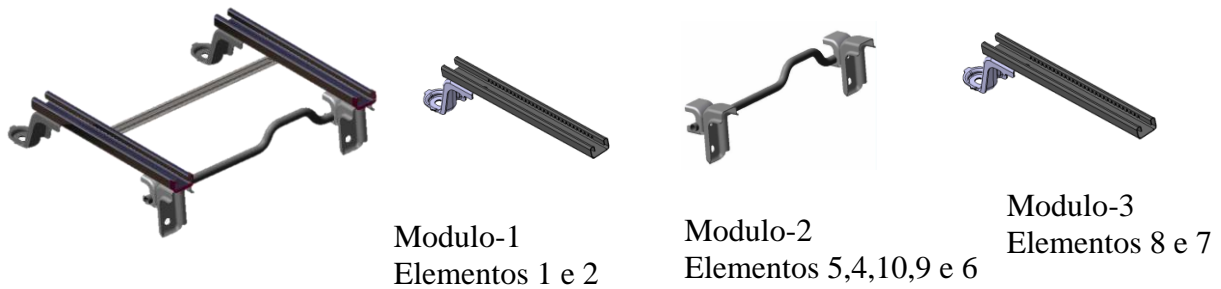
Figura 3 –Modelo básico de agrupamento pela matriz

		2	1	6	5	4	10	9	8	7	3
suporte traseiro Esq	2	■	1	1							
trilho inferior Esq	1	1	■								
suporte dianteiro Esq	6	1		■	1						
barra tensao	5			1	■	1					
suporte barra tensao Esq	4			1		■					
suporte barra tensao Dir	10				1		■	1			
suporte dianteiro Dir	9						1	■	1		
trilho inferior Dir	8							1	■	1	
suporte traseiro Dir	7							1	1	■	
travessa estabilisadora	3		1							1	■

Voltando a Figura 3, temos um produto (conjunto ‘A’) que consiste em 10 células funcionais (1,2 ..., 10), formadas por tres partes calculadas pelo cluster do DSM. O agrupamento “cluster” 1 inclui os elementos 1,2, e o elemento de ligação 6, o agrupamento 2 incluiu os elementos 5,4,10,9 e o elemento de ligação 6, e o agrupamento 3 incluiu os elementos ,9,8,7 que formam respectivamente os módulos 1,2 e 3.

Assim neste estudo, os tres blocos em destaque indicam que o produto pode ser dividido em três módulos conforme a seguinte configuração:

Figura 4 –Apresentação dos agrupamentos do produto-A



Obs: O elemento 3 não faz parte de nenhum modulo especifico

4 Aplicação método do agrupamento por ordenação (ROC)

RANK ORDER CLUSTERING

Segundo Chu e Tsai (1990), o método de agrupamento por ordenação ou matriz de King é um método que utiliza uma matriz binária inicial, também conhecida como “matriz de incidência”, que ao sofrer alterações para rearranjar linhas e colunas formam uma matriz que determina as células de manufatura.

Para iniciar a aplicação do método do agrupamento por ordenação (ROC). e as etapas do funcionamento do ROC, consideremos uma matriz com elementos binários de zeros e uns, onde:

m = número de máquinas;

n= o número de peças;

$a_{ij}=1$,quando a peça i for processada na máquina j;

$a_{ij}=0$,quando a peça i não for processada na máquina j;

As equações para o peso binário (BW) de linhas i e colunas j são:

a) Peso Binário para a linha i $\Rightarrow BW_i = 2^{n-i}$

b) Peso Binário para a coluna j $\Rightarrow BW_j = 2^{m-j}$

E as equações do decimal equivalente para as linhas i e colunas j são:

Decimal Equivalente para a linha i $\Rightarrow DE_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} \times 2^{m-j}$

Decimal Equivalente para a coluna j $\Rightarrow DE_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} \times 2^{m-i}$

4.1 Etapas do processo de método do agrupamento por ordenação (ROC), produto A.

Etapa 1: Nesta etapa são definidos e numerados os recursos necessários para confecção, e após esse estágio é construído a “matriz de incidência”, onde os recursos esta definidos na colunas e os itens do produto nas linhas da mtariz. Na sequencia é atribuir um peso binário (BWj) a cada coluna j da matriz de incidência e, determinado o decimal equivalente (DEi) do valor binário de cada linha i;

Figura 5 –Aplicação da “Matriz de incidência” no produto “A”

Recursos Descrição		Produto										Pontos	Ranquim Binario
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
R1	Rebitar	1	1				1	1	1	1		798	1
R2	Soldar				1	1	1				1	115	7
R3	Parafusar	1		1					1			644	4
R4	Transportar I		1					1				264	6
R5	Controle I						1			1		18	2
R6	Controle II			1								128	9
R7	Controle III				1	1	1			1	1	115	8
R8	Transportar II		1		1	1	1	1		1	1	379	5
R9	Transportar III	1					1		1	1		534	3

	2 ⁹	2 ⁸	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
Potencia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Base	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Peso	785	580	641	266	656	10	66	0	0	0

Calculo do Rank Binário

512	256	0	0	0	16	0	0	0	1	785	1
512	0	0	64	0	0	0	4	0	0	580	7
512	0	128	0	0	0	0	0	0	1	641	4
0	256	0	0	0	0	8	0	2	0	266	6
512	0	128	0	0	16	0	0	0	0	656	2
0	0	0	0	0	0	8	0	2	0	10	9
0	0	0	64	0	0	0	0	2	0	66	8
0	256	0	64	0	0	8	0	2	0	330	5
512	0	128	0	0	16	0	0	0	0	656	3

Na sequencia ocorre o rearranjo das linhas da matriz na ordem decrescente dos valores dos decimais equivalentes, atribuindo e para cada linha i da matriz um peso binário (BWi) , calculando o decimal equivalente (DEj) para cada coluna j ;

Figura 6 –Aplicação do rearranjo das linhas na “matriz de incidência” no produto

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
R1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	2^9
R3	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	2^8
R9	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	3	2^7
R8	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	4	2^6
R4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	5	2^5
R6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6	2^4
R2	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	7	2^3
R7	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	8	2^2
R5	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	9	2^1
	896	609	272	76	77	718	608	897	719	78		

Potencia	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Base	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Peso	785	580	641	266	656	10	66	0	0	0

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
512	512	0	512	0	0	512	0	0	0	512
256	256	0	256	0	0	256	0	0	0	0
128	128	0	128	0	0	128	0	0	0	0
64	64	0	64	0	0	0	0	0	0	64
32	0	32	0	32	0	0	32	0	32	0
16	0	16	0	0	0	0	16	0	16	0
8	0	0	0	8	0	0	0	8	0	0
4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0
2	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0
1	960	48	960	44	0	896	50	8	54	576

Proximo passo são rearranjadas as colunas da matriz na ordem decrescente dos valores dos decimais equivalentes da esquerda para a direita e repetir os passos de 1 a 4 até não haver mais mudanças de posições dos elementos em cada linha ou coluna.

Figura 7 – Matriz agrupamento por ordenação (ROC) para o produto “A”

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	P8	P1	P9	P6	P2	P7	P10	P5	P4	P3	
R9	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
R1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	← Agrupamento -1
R4	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
R8	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	
R2	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	← Agrupamento -2
R7	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	
R5	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
R6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
R3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	

Assim neste estudo, os dois blocos em destaque indicam a formação de duas células, gerando a seguinte configuração:

Agrupamento 1: Recursos- R9, R1, R4 e R8

Esses recursos são usados pelos itens: P8,P1, P9,P6 ,P2 e P7

Agrupamento 2: Recursos- R8, R2, R7

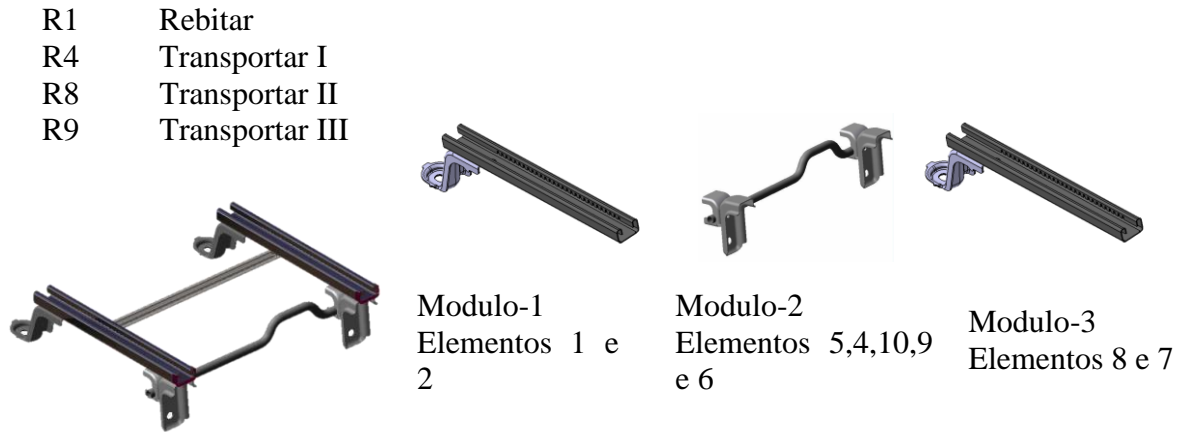
Esses recursos são usados pelos itens: P10, P4, e P5.

O Item P3 utiliza apenas o recurso 6 e três.

5. Resultados

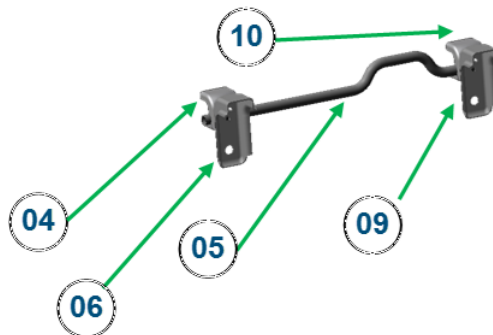
Agrupamento 1: Recursos- R9, R1, R4 e R8 itens: P8,P1, P9,P6 ,P2 e P7

Figura 8 – Resultados da Matriz agrupamento por ordenação (ROC) e DSM



Agrupamento 2: Recursos- R8, R2, R7 itens: P4,P5, P6, P9 e P10

R2	Soldar
R7	Controle III
R8	Transportar II



5. Conclusão

O método DSM se mostrou eficaz na identificação de agrupamento dos componentes em módulos, e no desenvolvimento e definição de uma arquitetura modular do produto “A”. Os operadores da matriz conseguiram distinguir as interações entre os elementos, agrupando os em três modulos base” famílias de produto”. Quanto ao agrupamento por ordenação (ROC), o método identificou dois módulos básico de aplicação de recursos ,oque poderia indicar que esses recursos devem estar mais próximos ou acessíveis possíveis durante o processo de produção do produto “A”.

Assim os métodos se mostraram eficazes na identificação de famílias de produtos e recursos necessários para produção desses itens, proporcionando informações que podem auxiliar na reducao de desperdícios de movimentação,transportes e rearranjos físicos contraproducentes.

6. Referências

- D. Joel Moses (Chair), Richard de Neufville, Manuel Heitor, Granger Morgan, Elisabeth Pate-Cornell, William Rouseeign. Structure Matrix Methods and Applications 2012. (livro)
- A. Al-Zaher, W. ElMaraghy. Design of reconfigurable automotive framing system - Industrial and Manufacturing Systems Engineering, University of Windsor-2013
- Martins Marcos Sampaio_Aplicação da DSM no processo de segurança no desenvolvimento de aeronaves comerciais-Dissertação de Mestrado-UNICAMP-2010
- Silvio Nunes dos Santos, et al. .Uso do “ROC” em layout fabril, XIII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 6 a 8 de novembro de 2006
- BLACK, J.T. Projeto da fábrica com futuro. Porto Alegre, Editora Bookman, 2001,627 p. (livro)
- CHAN H.M. e MILNER D.A. Direct clustering algorithm for group formation in cellular manufacture. JMS, 1(1):65-74, 1982. (livro)
- CHU C.H. e TSAI M.. A comparison of three array-based clustering techniques for manufacturing cell formation. IJPR, 28(8):1417-1433, 1990. (artigo de periódico)
- GAITHER, Norman, FRAZIER, Greg. Administração da produção e operações. 8.ed. SP: Pioneira, Thomson Learning, Inc., 2001 (livro)
- KING, J.R. e NAKORNCHAI, V. Machine-component group formation in group technology: Review and extension. IJPR, 20(2):117-133, 1982. (artigo de periódico)
- WEMMERLOV U, e HYER N.L. Procedures for the part family/machine group identification problem in cellular manufacturing. Journal of Operations Management, 6(2):125-147, 1986. (artigo de periódico)
- LI Mengqi. Modularize Integrated Manufacturing for Complex Mechanical Product and Application. Chongqing: Chongqing University; 2009.
- Browning TR. The design structure matrix. in Technology Management Handbook, R. C. Dorf, Ed. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRCnet-BASE, 1999: 103–111.
- Tarek AlGeddawy. A DSM Cladistics model for product family architecture design. Mechanical and Industrial Engineering, University of Minnesota Duluth, MN, USA-2014