

Modularização do produto - Aplicação em suspensão dianteira de ônibus

Daniel Marcelino da Rocha
daniel_rochabm@hotmail.com
UBM

André Luís de Oliveira Coutinho da Silva
andre.coutinho@ubm.br
UBM

José Aurélio Vilas Boas
joseaureliovilasboas2@gmail.com
UBM

Zilmar Alcântara Junior
zilmar.alcantara@ubm.br
UBM

João Pedro Leone Ramos
leoneresp@gmail.com
UBM

Resumo: Este trabalho aborda o tema complexidade na indústria automotiva e demonstra que este é um problema que está intrínseco em seus processos produtivos, devido as diferentes demandas por veículos customizados, com isso a quantidade de peças e combinações entre elas dentro de um sistema ou produto geram complexidade, que é incrementada com alto volume de produção. A modularização é apresentada neste estudo como uma resposta a esse problema enfrentado, onde é possível aumentar a variedade de produtos com baixa complexidade. A aplicação da modularização foi feita através dos métodos DSM e MFD em um sistema de suspensão dianteira de ônibus. O método DSM teve papel fundamental na otimização da lista de soluções técnicas gerando primeiros possíveis módulos e simplificando os iniciais cinquenta e seis componentes para vinte e um, através da visão funcional e técnica da equipe de projeto. O MFD foi utilizado principalmente para estruturar o processo de modularização e influenciar a formação dos módulos através dos requisitos dos clientes, voz da engenharia e estratégias da empresa. Os resultados obtidos com a combinação dos dois métodos foram analisados de forma detalhada e indicaram a formação de seis módulos. Com este estudo ficou claro, através dos resultados alcançados, que a combinação dos dois métodos, mais a influência da equipe com análises criteriosas, aumentou consideravelmente a eficiência do processo de modularização e reduziu substancialmente a complexidade do sistema, onde antes era composto por cinquenta e seis elementos e após aplicação dos métodos ficaram seis subsistemas (módulos) que podem ser desenvolvidos individualmente, mas com funcionamento integrado, permitindo assim a produção de diferentes variantes do produto através da combinação dos subsistemas.

Palavras Chave: Industria automotiva - Customização - Complexidade - Modularização - Variedade de produto

1. INTRODUÇÃO

As empresas automobilísticas, estão em busca de projetos e processos focados em redução de complexidade que não afetem o atendimento aos clientes quando solicitarem produtos exclusivos com preços, qualidade e tempo de entrega de produtos padronizados. O desafio é como trabalhar neste trade off de “redução de complexidade x customização em massa”. E o que torna os sistemas de manufatura e cadeia de suprimentos das automobilísticas complexos é a quantidade de peças e as possíveis combinações entre elas (EFTHYMIU et al., 2012).

Assim, para atender as diversas demandas, diferentes tipos de necessidades e disponibilizar o produto rapidamente no mercado mantendo baixa complexidade é necessária a aplicação de novas técnicas (MILLER, 1998). Uma das técnicas que permite a variação de produtos, rápido desenvolvimento, resposta ao mercado em curto tempo em sistemas complexos e com alto volume sem acarretar um grande aumento na complexidade é a modularização. A modularização permite a redução de complexidade, dividindo o produto em subsistemas menores, resultando em flexibilidade (MACHADO; MAZIERO, 2014).

Neste trabalho são aplicados os princípios de modularização em uma empresa fabricante de veículos comerciais, utilizando o método Modular Function Deployment (MFD) e Design Structure Matrix (DSM), proposto por Erixon (1998), bem como é proposta a modularização em um projeto de suspensão dianteira de ônibus.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MODULARIZAÇÃO

A modularização é uma estratégia para a construção de processos/produtos mais complexos a partir de subsistemas, sendo estes desenvolvidos individualmente, mas com o funcionamento integrado permitindo assim a produção de diferentes produtos através de combinação de subsistemas, conforme Baldwin e Clark (1997).

Segundo Miller (1998), as três motivações básicas para a adoção do processo de modularização são: criação de variantes dos produtos (customização), utilização de similaridades e redução de complexidade. O mesmo apresenta alguns benefícios da modularização.

- Ampliação da variedade de produtos;
- Redução dos investimentos e custos de desenvolvimento;
- Desenvolvimento rápido da tecnologia;
- Facilidade de manutenção, reparos e reciclagem;
- Gerenciamento das incertezas;
- Melhor integração entre os objetivos de marketing e das áreas técnicas.

2.2. MODULAR FUNCTION DEPLOYMENT

O MFD é método utilizado para modularizar produtos que inclui critérios relacionados à requisitos do cliente, técnicos e estratégicos. O método proposto por Erixon (1998) é composto por cinco passos para definição dos módulos conforme descritos abaixo:

Primeiro passo – Matriz QFD: elaborar uma lista com os requerimentos dos clientes e definir propriedades do produto que sejam mensuráveis e controláveis para atender a estas exigências. Correlacionar os requerimentos dos clientes com as propriedades do produto utilizando a matriz QFD.

Segundo passo – Selecionar as soluções técnicas: decompor o produto em soluções técnicas para atender às propriedades do produto e descrever como cada solução técnica impacta no desempenho das propriedades do produto em particular. Para esta correlação é utilizada a matriz DPM. A correlação dos elementos na matriz DPM é similar a apresentada na matriz QFD. Lange (2008) propõe que as análises funcionais para definição das soluções técnicas são feitas essencialmente de duas formas: A análise Top-down (de cima para baixo), inicia descrevendo a função principal do produto e desdobrando esta função aos outros níveis até alcançar as funções, isso serve para produtos não existentes. Na análise Botton-up (de baixo para cima), o ponto de partida é um produto existente sendo que todas as soluções técnicas são questionadas e novas propostas discutidas.

Terceiro passo – Gerar o conceito modular: correlacionar as soluções técnicas com a tabela de direcionadores estratégicos. Para isso é utilizando a matriz MIM. Nesta fase, os candidatos a módulos são gerados e definidos aplicando métodos de clusterização hierárquica. A visualização é feita através de dendogramas.

Quarto passo – Analisar o conceito modular: definir a relação de interação e interface entre os módulos gerados. Serão utilizadas as classificações: controle/comunicação (C); meio ambiente (E); campo (F); fixação (A); espacial (S); transferência (T). Pode haver mais de uma interface entre os módulos ou nenhuma interface. Para isso, é utilizado a matriz de interface ou matriz MI. Nesta etapa é também gerado a matriz PMM (Product Management Map) que possui toda a trajetória do processo de modularização.

Quinto passo – Aperfeiçoar os módulos: nesta fase, todas as informações relevantes à formação dos módulos são tabeladas através de formulário para auxiliar no desenvolvimento e projeto dos módulos e servir de documento de comunicação com as demais áreas da empresa.

2.3. DESIGN STRUCTURE MATRIX (DSM)

DSM utiliza uma matriz para analisar e correlacionar as dependências existentes entre componentes, funções ou soluções técnicas de um produto. Segundo Hölttä-Otto (2005) e Borjesson (2010), DSM é um método tipicamente utilizado para definir a sequência ideal das atividades ou organizar equipes para minimizar interações desnecessárias no projeto durante o processo de desenvolvimento do produto, podendo também definir módulos em uma arquitetura quando os elementos da matriz são componentes do produto.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado por meio de uma Pesquisa de Campo, iniciada através de revisão bibliográfica do tema abordando os assuntos sobre modularização do produto e em seguida, foi realizada a coleta dos dados em uma empresa automobilística da região sudeste do Brasil. Para realizar a modularização foram utilizados os métodos MFD e DSM. A ferramenta matriz SWOT foi utilizada para mapear a situação em que a empresa se encontra perante o mercado e internamente. Para auxiliar na aplicação dos métodos de modularização foram utilizadas as ferramentas Brainstorming, para geração de ideias, Benchmarking para comparação e melhoria contínua e QFD, que está incluído no MFD, e por fim, foram avaliados os resultados alcançados por meio de comparação do observado na prática com o que foi estudado de forma teórica.

4. DESENVOLVIMENTO

Uma equipe multifuncional foi montada para realização deste estudo. Para verificar a situação atual da empresa (ambiente interno e externo) foi feita a análise SWOT. A Figura 1 demonstra o resultado da análise.

Análise SWOT	
FORÇAS (S)	FRAQUEZAS (W)
Alinhamento estratégico com o negócio	Alta complexidade de peças
Boa imagem	Custos altos
Qualidade do produto	Tempo de entrega de novos produtos no mercado
Autonomia no produto	Gerenciamento das atividades e prioridades
Conhecimento técnico	Equipe técnica reduzida
OPORTUNIDADES (O)	AMEAÇAS (T)
Rápido crescimento do mercado	Rápido desenvolvimento tecnológico
Novas aplicações do produto (nichos)	Diminuição do ciclo de vida do produto
Novas tecnologias	Novas demandas com prazos curtos
Inovações	Redução do <i>time to Market</i>
Produtos sob medida	Produtos específicos
Novos mercados	Concorrência acirrada
	Crise política

Figura 1: Análise SWOT aplicada.

Fonte: Autores.

As fraquezas, que são consideradas deficiências que inibem a capacidade de desempenho da organização, foram analisadas e identificou-se dificuldades relacionadas a complexidade como a variedade de peças, que influenciam nas outras fraquezas apresentadas como tempo de entrega de novos produtos no mercado, altos custos e difícil gerenciamento das atividades. Uma das soluções para empresa superar estas fraquezas e ter condições de aproveitar as oportunidades é a aplicação da modularização de produto que permite aumentar a flexibilidade de produtos reduzindo a complexidade mesmo com alto volume, permitindo que a empresa responda rapidamente o mercado e atenda às necessidades dos clientes quando demandarem produtos específicos.

Para aplicação da modularização a equipe indicou o produto ônibus motor dianteiro, pois além da redução de complexidade, um dos objetivos da empresa é tornar este produto mais competitivo no mercado. O motivo de se escolher o sistema de suspensão dianteira é pelo alto grau de complexidade e também valor agregado ao produto final. A Figura 4 mostra o sistema escolhido.

A escolha do método MFD foi pensada para este estudo pela possibilidade de utilizar informações referentes a estratégia da empresa e estar ligada aos requisitos do cliente.

A aplicação do método DSM junto ao MFD tem como objetivo otimizar as soluções técnicas com uma visão técnica e funcional e contribuir na definição do conceito modular. Com esta junção os passos seguidos serão apresentados conforme Figura 2.

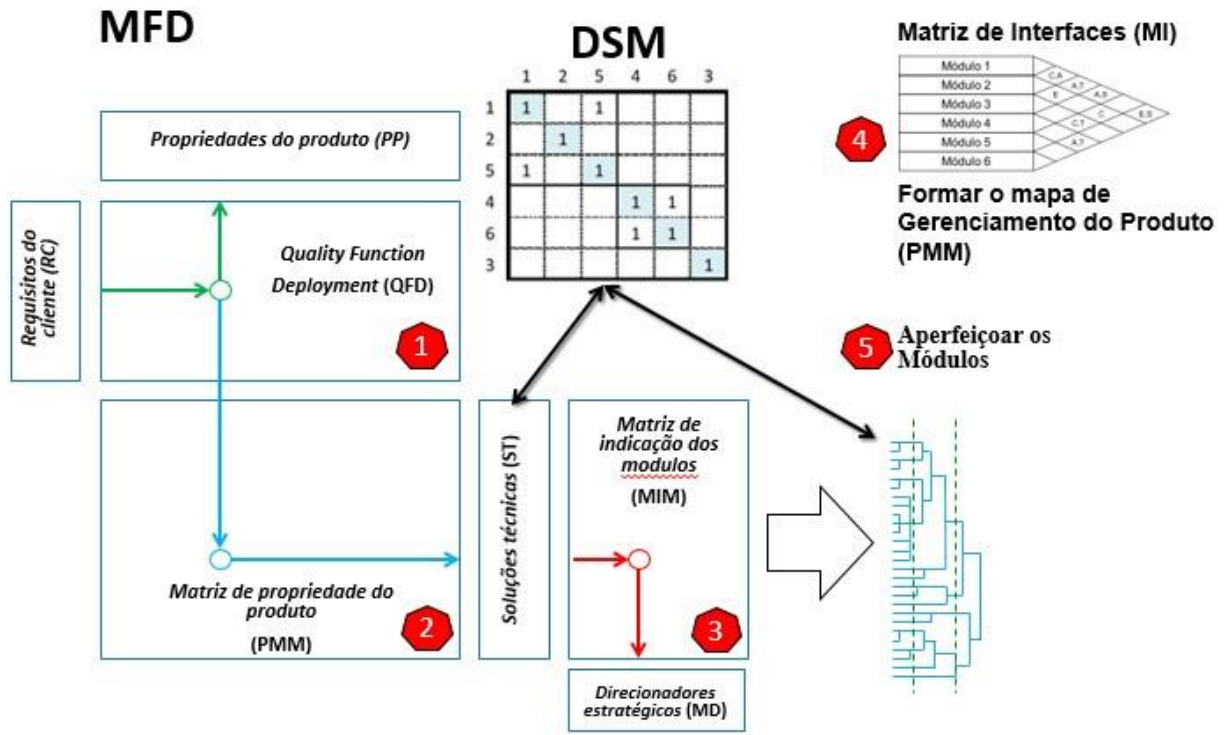


Figura 2: MFD com DSM.

Fonte: Autores.

4.1. DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DO CLIENTE E PROPRIEDADE DO PRODUTO

Nesta etapa foram identificadas as necessidades dos clientes e as propriedades do produto. Como este trabalho aplica-se em um produto existente, a própria equipe elaborou lista de requisitos do cliente, grau de importância e propriedades do produto através de suas experiências e histórico da empresa. Os requisitos do cliente e propriedades do produto foram correlacionados usando a matriz QFD. Os critérios utilizados foram: 9 para relação forte, 3 para relação média e 1 para relação fraca. Quando não existe relação entre os requisitos fica sem pontuação, em branco. A Figura 3 apresenta a matriz que foi gerada. Para aplicação no método MFD não é necessário a aplicação completa do QFD.

	Requisitos técnicos											
	Frequência de suspensão	Curso da suspensão	Rate das buchas de borracha	Capacidade de carga vertical	Capacidade de carga longitudinal	Elementos de fixação padronizados	Nível de ruído	Rigidez lateral	Rigidez torcional	Peso	Grau de importância (geral)	
RC: Requisitos do Cliente	Conforto para o motorista e passageiro	⊙	⊙	○				⊙				4
		9	9	3				9				
	Estabilidade/Dirigibilidade	⊙	⊙	○		⊙		○	○	○		4
		9	9	3		9		3	3	3		
	Baixo desgaste de pneus	△			⊙	○		△	△	○		5
		1			9	3		1	1	3		
	Capacidade de transpor obstáculos		⊙	○		○		○	○			3
			9	3		3		3	3			
	Segurança na frenagem			△	○	○		○	○	△		5
				1	3	3		3	3	1		
	Baixo nível de ruído		○	⊙				⊙				2
			3	9				9				
	Capacidade de carga e tração	⊙	○		⊙	⊙					○	3
		9	3		9	9					3	
	Fácil manutenção						⊙				○	5
							9				3	
	Baixo custo de manutenção						⊙				△	5
							9				1	
Durabilidade/confiabilidade dos componentes	△		△								5	
	1		1									
Grau de importância (Absoluto)	109	114	61	87	102	90	54	41	41	61		
Grau de importância (percentual)	14%	15%	8%	11%	13%	12%	7%	5%	5%	8%		

Figura 3: Matriz QFD aplicada.

Fonte: Autores.

4.2. SELEÇÃO DAS SOLUÇÕES TÉCNICAS

As soluções técnicas devem ser elaboradas a partir das propriedades do produto, devem estar fisicamente no produto e serem percebidas pelo cliente. A análise funcional escolhida para definir as soluções técnicas foi a Botton-up (de baixo para cima), pois o produto a ser modularizado é um produto existente. Com isso foram propostas 56 soluções técnicas.

Dentro da elaboração das soluções técnicas o DSM foi aplicado para otimizar o número de soluções técnicas, reduzindo a quantidade e dando início a possíveis módulos e a redução de complexidade não só para o produto, mas também para a simplificação do MFD. A execução foi feita através do software DSM EXCEL MACRO 2.1. A Figura 4 demonstra a aplicação da matriz DSM.

Soluções técnicas com DSM	
Soluções técnicas (Conjunto)	Subcomponentes
Mola	Mola
	Suporte dianteiro de mola
	Suporte traseiro de mola
	Jumelo
	Inserto do jumelo
Calço de mola	N.A.
Batente	Batente
	Suporte do batente
Grampo de mola	Grampo de mola
	Placa do grampo
Amortecedor	Amortecedor
	Suporte superior do amortecedor
	Suporte inferior do amortecedor
Barra estabilizadora	Barra estabilizadora
	Suporte do mancal da barra estabilizadora
	Suporte do tirante da barra estabilizadora
	Braçadeira do mancal da barra estabilizadora
	Tirante da barra estabilizadora
Caixa de direção	Bucha do mancal da barra estabilizadora
	Caixa de direção
	Suporte da Caixa de direção
	Braço pitman
Coluna de direção	N.A.
Barra de direção primária	N.A.
Barra de direção secundária	N.A.
Braço pitman auxiliar	N.A.
Bomba de direção	Reservatório da direção
	Bomba de direção
Barra de ligação	Barra de ligação
	Braço de ligação LD
	Braço de ligação LE
	Parafuso batente
Viga de eixo	Viga de eixo
	Manga de eixo LD
	Manga de eixo LE
	Conjunto Pino mestre (rolamento, buchas e calços)
	Pino de trava superior
	Pino de trava Inferior
	Tampa da manga superior
	Tampa da manga inferior
Braço de direção	N.A.
Cubo de roda	Cubo de roda
	Rolamento do cubo
	Retentor do cubo
	Prisioneiros do cubo
Tambor de freio	N.A.
Anel do ABS	Anel do ABS
	Sensor do ABS
	Bucha do sensor do ABS
S came	S came
	Ajustador
Câmara de freio	N.A.
Spider de freio	Spider de freio
	Sapata + lonas de freio
	Roletes
	Molas de retenção e retorno

Figura 5: Soluções técnicas após aplicação do DSM.

Fonte: Autores.

Com esta simplificação, a lista final de soluções técnicas foi reduzida de 56 subcomponentes (coluna da direita) para 21 (coluna da esquerda) conjuntos. Um exemplo

simplificado é o conjunto da Bomba de direção que é composta pelos subcomponentes Reservatório e Bomba de direção.

As soluções técnicas foram confrontadas com as propriedades dos produtos através da matriz DPM (Design Property Matrix). Os critérios utilizados foram os mesmos do QFD e de maneira direta, focando nas relações mais fortes. A matriz DPM obtida está apresentada na Figura 6.

		Requisitos técnicos									
		Frequência da suspensão	Curso da suspensão	Rate das buchas de borracha	Capacidade de carga vertical	Capacidade de carga longitudinal	Elementos de fixação padronizados	Nível de ruído	Rigidez lateral	Rigidez torcional	Peso
Soluções técnicas	Mola	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		○			○
	Calço de mola	9	9	9	9	9		3			3
	Batente	△	⊙					△			△
	Grampo de mola	1	9		○	○	⊙	⊙			△
	Amortecedor	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	○				○
	Barra estabilizadora	9	9	9	9	9	3			⊙	⊙
	Caixa de direção				⊙	⊙	○	⊙			△
	Coluna de direção				9	9	3	9			1
	Barra de direção primária				⊙	⊙					△
	Barra de direção secundária				⊙	⊙					△
	Braço pitman auxiliar				⊙	⊙			⊙	⊙	△
	Bomba de direção				9	9			⊙		△
	Barra de ligação				○	○	⊙		9		1
	Viga de eixo				3	3	9				
	Braço de direção				⊙	⊙			○	○	⊙
	Cubo de roda				9	9	9		3	3	9
	Tambor de freio				○	○			○		○
	Anel do ABS				3	3		3			3
	S came				○	○					△
	Câmara de freio				3	3					1
	Spider de freio				⊙	⊙		○			△
					9	9		3			1
	Somatório	19	27	18	121	118	48	52	24	24	43

Figura 6: Matriz DPM – Soluções técnicas x Requisitos do produto.

Fonte: Autores.

4.3 GERAÇÃO DO CONCEITO MODULAR

Nesta etapa, é formada a matriz MIM ou Matriz de Indicação de Módulos. Esta matriz é utilizada para correlacionar as soluções técnicas com os direcionadores estratégicos. A

indicação dos melhores agrupamentos foi feita pela equipe multifuncional, utilizando os direcionadores estratégicos, suas experiências, histórico da empresa e tendo como base o método de clusterização hierárquica. A visualização do resultado foi feita através de dendograma. A Figura 7 mostra a matriz MIM pontuada e a Figura 8 mostra o dendograma obtido.

	Direcionadores estratégicos											
	Carry over	Evolução tecnológica	Alteração planejada	Especificações técnicas	Estilo	Unidade comum	Organização e processo	Testes em separado	Fornecedores estratégicos	Manutenção	Atualização/upgrading	Reciclagem
Mola		⊙	⊙	⊙		△	⊙		⊙			○
		9	9	9		1	9		9			3
Calço de mola	⊙					⊙	⊙					
	9					9	9					
Batente	⊙					⊙						○
	9					9						3
Grampo de mola	○			⊙		○	⊙					○
	3			9		3	9					3
Amortecedor			⊙	⊙						○		⊙
			9	9						3		9
Barra estabilizadora			⊙	⊙		⊙	⊙		⊙			
			9	9		9	9		9			
Caixa de direção	⊙			○			⊙					
	9			3			9					
Coluna de direção	⊙			○			⊙					
	9			3			9					
Bomba de direção	⊙						○					
	9						3					
Barra de direção primária		○				⊙	⊙					○
		3				9	9					3
Barra de direção secundária		○				⊙	⊙					○
		3				9	9					3
Braço pitman auxiliar						⊙	⊙					
						9	9					
Barra de ligação				⊙		⊙	⊙					
				9		9	9					
Viga de eixo	⊙			⊙		⊙	⊙		⊙			○
	9			9		9	9		9			3
Braço de direção				⊙		⊙	⊙					
				9		9	9					
Cubo de roda	⊙			⊙		⊙	⊙		⊙	○		○
	9			9		9	9		9	3		3
Tambor de freio	⊙			⊙		⊙	⊙		⊙			○
	9			9		9	9		9			3
Anel do ABS	⊙					⊙	⊙					
	9					9	9					
S came	⊙					⊙	⊙					
	9					9	9					
Câmara de freio	⊙			⊙		⊙	⊙		⊙	⊙		○
	9			9		9	9		9	9		3
Spider de freio	⊙	⊙	○	⊙		⊙	⊙		⊙	⊙		
	9	9	3	9		9	9		9	9		
Somatório	111	24	30	105	0	139	165	0	63	24	0	36

Figura 7: Matriz de indicação de módulos (MIM).

Fonte: Autores.

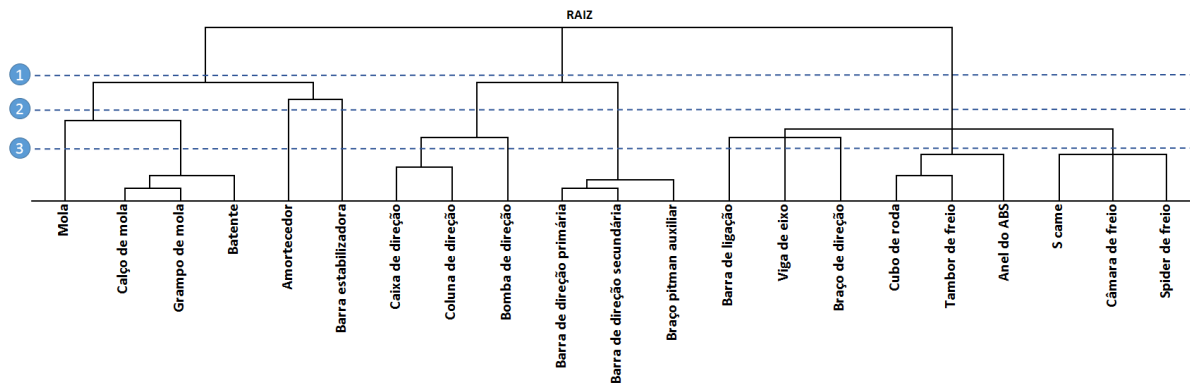


Figura 8: Dendrograma aplicado às soluções técnicas.

Fonte: Autores.

Os agrupamentos mostrados na representação hierárquica devem ser interpretados e analisados para decidir quais devem ser módulos ou não. As análises do dendrograma podem considerar as ramificações mais baixas, com maior similaridade, ou as mais altas, nas quais os elementos ainda possuem similaridade para poderem ser agrupados. A ramificação mais baixa, chamada ramificação 3, sugere doze agrupamentos. Na ramificação mais baixa a formação de pequenos grupos é influenciada por fatores como peças carry over, unidade comum e que não possuem alterações planejadas ou evolução tecnológica, ou seja, peças que são comuns em outras aplicações/famílias de produtos e que sofrem poucas modificações ao longo do tempo.

Com a ramificação mais alta, chamada de ramificação 1, tem-se 3 grandes agrupamentos. A formação de grandes grupos na ramificação mais alta é justificada por agrupar elementos que são fortemente influenciados pelos direcionadores organização/processo e fornecedores estratégicos. Neste tipo de ramificação podem haver alguns riscos, pois, o produto pode ficar superdimensionado, a performance pouco otimizada e módulos comuns, o que pode causar perda da identidade do produto.

A ramificação média, chamada de ramificação 2, é composta por 6 agrupamentos. Na ramificação 2, o grupo (módulo) denominado eixo completo, foi mantido devido à forte influência dos direcionadores estratégicos de organização e processo, unidade comum e fornecedores estratégico. Isso pelo fato de existir grandes fornecedores de eixos, com know now e capacidade produtiva de desenvolver soluções para atender os requisitos das montadoras. Para o processo produtivo da montadora, também há benefícios como redução de peças na borda de linha, redução do tempo de montagem, redução de complexidade, dentre outros. No grupo um, dois e três, ficou dividido entre mola, amortecedor e barra estabilizadora. Mola e barra estabilizadora também foram influenciados pelos direcionadores organização e processo e fornecedores estratégico, pelos mesmos motivos do grupo eixo completo descritos anteriormente, mas não ficaram juntos por serem também influenciados pelo direcionador estratégico especificações técnicas. O grupo amortecedor ficou separado por conta de diferentes especificações técnicas e por sofrer constante alterações ao longo do tempo. No agrupamento que compõe o grupo de direção, ficou definido que caixa de direção, coluna de direção e bomba de direção, ficassem no agrupamento quatro, por serem influenciados pelo direcionador carry over, onde dificilmente serão alterados ou sofrerão alterações planejadas ao longo do tempo. E o agrupamento 5, que ficou composto por barra de direção primária, barra de direção secundária e braço pitman auxiliar, influenciados principalmente pelo direcionador unidade comum e organização e processo.

A ramificação 2, conforme mostrada na Tabela 1, demonstrou através do uso dos direcionadores estratégicos e pequenos ajustes, de acordo com o conhecimento da equipe, ser uma possível solução para o conceito modular que o presente trabalho buscar alcançar.


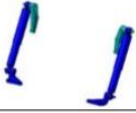




Ramificação 2			
Agrupamento 1	Mola	Mola	
		Calço de mola	
		Grampo de mola	
		Batente	
Agrupamento 2	Amortecedor	Amortecedor	
Agrupamento 3	Barra estabilizadora	Barra estabilizadora	
Agrupamento 4	Caixa de direção	Caixa de direção	
		Coluna de direção	
		Bomba de direção	
Agrupamento 5	Barra de direção	Barra de direção primária	
		Barra de direção secundária	
		Braço pitman auxiliar	
Agrupamento 6	Eixo completo	Barra de ligação	
		Viga de eixo	
		Braço de direção	
		Cubo de roda	
		Tambor de freio	
		Anel do ABS	
		S came	
		Câmara de freio	
		Spider de freio	

Tabela 1: Lista de módulos conforme ramificação 2.

Fonte: Autores.

4.4 ANÁLISE DO CONCEITO MODULAR

Este passo consiste em avaliar os conceitos gerados por meio da Matriz de Interfaces (MI), a qual mostra o relacionamento entre os módulos, por intermédio do tipo de interface existente entre cada par de módulo. A Figura 9 demonstra a aplicação da MI.

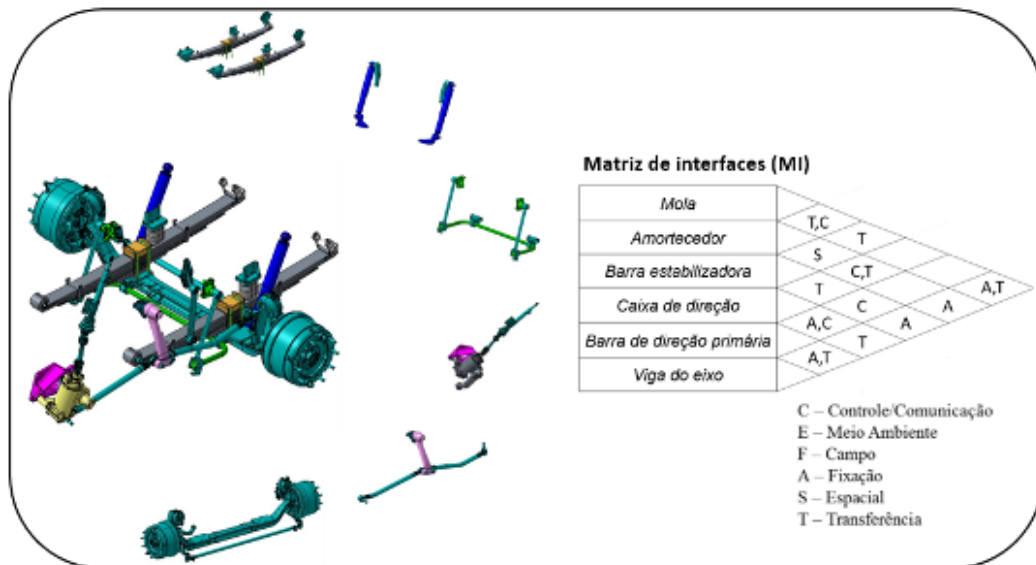


Figura 9: Matriz de Interfaces (MI) aplicada ao conceito modular.

Fonte: Autores.

Nesta fase do método, também é montado o mapa de gerenciamento do produto (PMM). Este mapa é formado pelas 3 matrizes do MFD (QFD, DPM e MIM). Através do PMM é possível ver todo o desenvolvimento e mostra também o caminho percorrido durante o processo de modularização e permite que a equipe volte em algumas etapas para verificar o preenchimento e se alguma necessidade ou etapa não está sendo cumprida. A Figura 10 mostra a mapa de gerenciamento do produto (PMM).

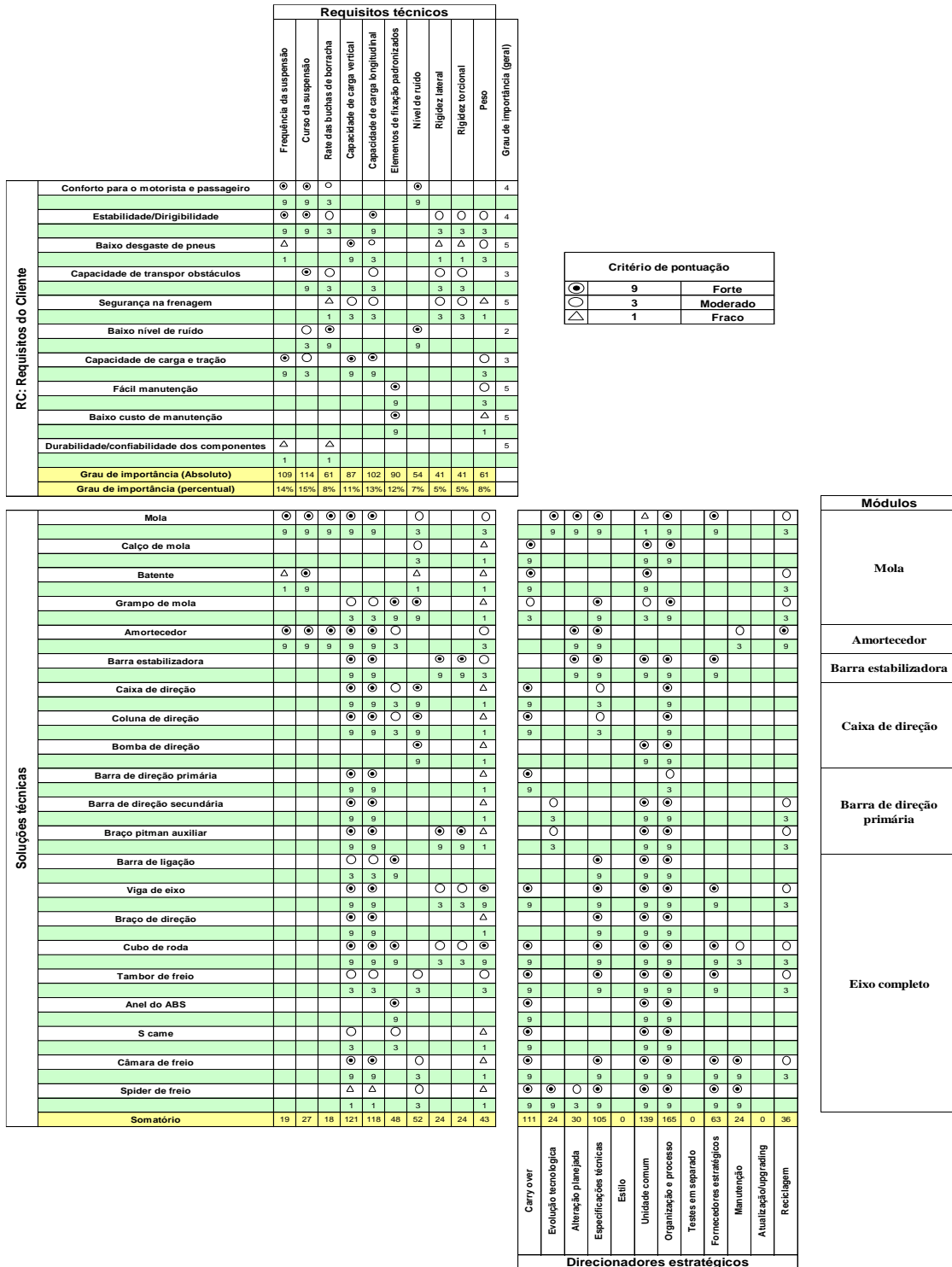
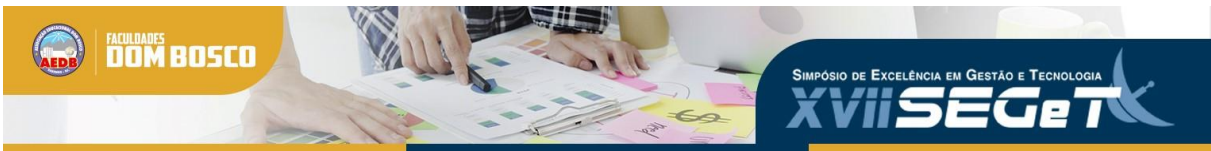


Figura 10: Mapa de gerenciamento do produto (PMM).

Fonte: Autores.

5 CONCLUSÃO

Este estudo foi importante para comprovar a dificuldade que as empresas automobilísticas enfrentam devido à complexidade de seus sistemas e foi possível entender que é um problema que está intrínseco, principalmente pela demanda do mercado em ter produtos customizados para atender diferentes necessidades, seja por novas tecnologias, concorrência ou simplesmente pelo desejo do cliente. Este estudo mostrou que a



modularização é uma forma de mitigar ou uma resposta aos problemas gerados pela customização em massa.

Os resultados apresentados após a aplicação da matriz SWOT foram essenciais para mapear a situação da empresa e foi possível comprovar que a complexidade era um dos pontos fracos e dificultava o aproveitamento das oportunidades. As informações passadas por integrantes da empresa contribuíram para este estudo e aplicação da modularização.

Os métodos escolhidos para aplicação da modularização, MFD e DSM, mostraram que possuem características similares e complementares. São similares com relação a entrada de dados matricial e solução, e são complementares por que em um sistema muito complexo o DSM apresenta uma visão técnica e de otimização de dados e o MFD apresenta forte influência da voz do cliente e engenharia, conforme foi aplicado o QFD, e as estratégias da empresa, com direcionadores estratégicos.

Com os requisitos do cliente e propriedades do produto bem definidos através do QFD, a lista de soluções técnicas, que são as peças que compõe o sistema de suspensão do produto, foi elaborada. A decomposição inicial do sistema gerou 56 elementos. Nesta fase, a integração do DSM ao MFD se mostrou muito apropriada para iniciar e otimizar o processo de modularização, agrupando soluções técnicas que devem estar juntas para exercer suas funções. O resultado foi uma redução da lista inicial de 56 para 21 elementos, ou seja, redução na lista de 62%.

O uso dos direcionadores estratégicos, experiência da equipe e histórico da empresa, foram muito importantes para influenciar a geração dos módulos e a identificação dos módulos ocorreu por meio da análise do dendograma, que se mostrou ser de fácil entendimento. A partir desse ponto, a equipe sugeriu três ramificações. A ramificação média (dois) se mostrou o melhor grupo de módulos por apresentar maiores benefícios, com direcionadores estratégicos bem definidos e criar grupos de peças que são extremamente estratégicas para o produto, dando a oportunidade no futuro de otimizar o processo de produção da empresa, poder de negociação com fornecedores estratégicos e ter variantes técnicas no produto. Após a aplicação do DSM e MFD, a lista de soluções técnicas foi reduzida de 21 para 6 grupos ou 6 módulos. Isso mostra a eficácia dos métodos propostos para modularizar o sistema de suspensão, onde o número de soluções técnicas foi reduzido de 56 para 6, com uma otimização da complexidade de aproximadamente 90%.

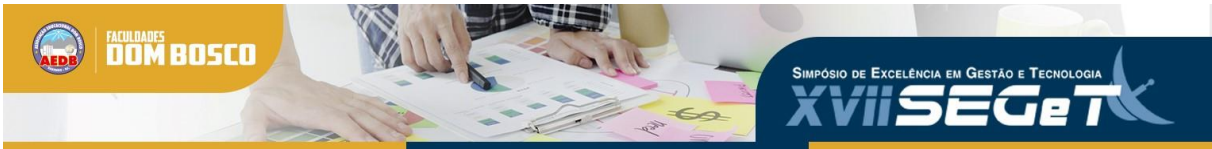
Por fim, verificou-se também que com a estrutura modular de produto, os engenheiros terão maior liberdade para projetar seus módulos, sem dependência direta de outros componentes que estariam isolados, sendo desenvolvidos separadamente. Com isso podem criar e testar soluções diversas em módulos de sua responsabilidade, respeitando as interfaces do sistema. Isso contribuirá para o aumento do número de inovações nos projetos e também agilidade na solução de problemas. Após a divisão em módulos, os grandes fornecedores tendem a participar diretamente do desenvolvimento do produto, contribuindo com know how e com negociações estratégicas.

6. REFERÊNCIAS

BALDWIN, C. Y & CLARK, C. B. Managing in age of modularity. Harvard Business Review, Cambridge, September-October, 1997.

BORJESSON, F. A Systematic Qualitative Comparison of Five Approaches to Modularity. In: INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE – DESIGN, Dubrovnik, Croatia, p. 147–156., 2010.

EFTHYMIU, K.; PAGOROPOULOS, A.; PAPAKOSTAS, N.; MOURTZIS, D.; CHRYSOLOURIS, G. Manufacturing Systems Complexity Review: challenges and outlook. In: Procedia CIRP – Conference on Manufacturing Systems, v. 3, p. 644–649, 2012.



ERIXON, G. Modular Function Deployment: a method for product modularisation. 1998. 178 p. Doctoral Thesis – The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1998.

HÖLTTÄ-OTTO, K. Modular Product Platform Design. 65 p. Doctoral Thesis – Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 2005.

HU, S. J.; ZHU, X.; WANG, H.; KOREN, Y. Product Variety and Manufacturing Complexity in Assembly Systems and Supply Chains. CIRP Annals - Manufacturing Technology, v.5, n.1, p. 45–48, 2008.

LANGE, M. W. Modular Function Deployment: Proficiency training. Modular Management, , Stockholm, 2008.

MACHADO, J.; MAZIERO, N. L. Aplicação do método MFD para Projeto de Produto Modular com Enfoque na Manufatura e na Montagem. Revista CIATEC – UPF, v. 6, n. 2, p. 1–14, 2014.

MILLER, T. D. Defining Modules, Modularity and Modularization: evolution of the concept in a historical perspective. Proceedings of the 13th IPS Research Seminar, p. 1–19, 1998.

RAMOS, C. C. Análise e aplicação de métodos de modularização no desenvolvimento do produto – Guaratinguetá, 2016

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. A máquina que mudou o mundo. 14. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.