

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRATÉGIA MODULAR UTILIZANDO O AXIOMATIC DESIGN

José Antonio Carnevalli¹
Marcos Ricardo Rosa Georges²
José Eduardo Rodrigues de Sousa³
Samuel Carvalho De Benedicto⁴
Bruna Ajudarte Zavarise⁵

RESUMO: A estratégia da modularidade contribui para a parceria entre montadoras e fornecedores ao facilitar a terceirização de parte das atividades de projeto, fabricação e montagens dos veículos. Porém, essa estratégia gera desafios para os fornecedores se adaptar às novas exigências e atividades assumidas. O objetivo desta pesquisa é desenvolver um modelo teórico de implantação da estratégia modular nos fornecedores com o uso do *Axiomatic Design (AD)* utilizando dados de pesquisas bibliográficas. Verificou-se que os principais atributos das montadoras para a seleção de fornecedores de módulos são o *Know-How* das empresas, nível de qualidade dos produtos e serviços oferecidos; saúde financeira; flexibilidade logística, riscos associados e preço competitivo. Isto significa que a montadora só irá terceirizar atividades para os seus fornecedores se estes conseguirem realizá-las de forma satisfatória e num custo que justifique a terceirização. Por esta razão, quando se faz o desdobramento da estrutura hierárquica do AD verifica-se a necessidade de que os fornecedores tenham instalados departamentos de gestão de clientes, de manufatura, de projeto de produto e de logística com competências que atendam o nível de competência exigido pelas montadoras. É lógico que isto não significa que o fornecedor não possa terceirizar algumas destas atividades para empresas específicas, mas será ela que responderá pelas falhas no cliente. A conclusão do desdobramento do modelo proposto, a elaboração da sequência de aplicação com o diagrama de módulo e junção e fluxograma confirmam a viabilidade do uso do AD em atender o objetivo deste trabalho.

Palavras-chave: Projeto Axiomático. Modularidade. Terceirização. Setor Automotivo.

¹ Pós-Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo, USP. Professor, Pesquisador do Centro de Economia e Administração, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, PUC-Campinas, SP. Membro do Grupo de Pesquisa em “Gestão de Operações e Serviços”. jose.carnevalli@puc-campinas.edu.br.

² Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Professor, Pesquisador do Mestrado em Sustentabilidade da Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Líder do Grupo de Pesquisa em “Gestão de Operações e Serviços” E-mail: marcos.georges@puc-campinas.edu.br

³ Doutor, Administração, Professor, Pesquisador do Centro de Economia e Administração, CEA, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, PUC-Campinas, Campinas, São Paulo /Brasil. Líder do Grupo de Pesquisa “Gestão Estratégica e Sustentabilidade”. E-mail: eduardo.sousa@puc-campinas.edu.br .

⁴ Doutor em Administração pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Professor, Pesquisador e Coordenador do Mestrado em Sustentabilidade da Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Membro do Grupo de Pesquisa “Gestão Estratégica e Sustentabilidade”. E-mail: samuel.benedicto@puc-campinas.edu.br

⁵ Aluna de Graduação da Faculdade de Engenharia de Produção da PUC-Campinas, Centro Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, CEATEC, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, PUC-Campinas, Campinas, São Paulo /Brasil. E-mail: bruna_zavarise@yahoo.com.br.

1 INTRODUÇÃO

Buscando se adaptar às novas realidades do mercado globalizado a indústria automobilística instalada no Brasil tem adotado a estratégia modular o que permite o uso da inovação aberta. Segundo a literatura, esta abordagem tem sido adotada a partir da década de 1990 (SALERNO *et al.*, 2008). Com esta abordagem as etapas de projeto, fabricação e montagem dos veículos podem ser feitas mais rapidamente, pois as partes dos veículos podem ser projetadas simultaneamente em paralelo e não mais em sequencial, assim como a sua fabricação e montagem (CARNEVALLI *et al.*, 2010). Além disso, esta estratégia permite que as atividades não fiquem mais concentradas numa só empresa, mas que sejam terceirizadas para seus principais fornecedores. Ou seja, a montadora pode terceirizar parte dos projetos dos módulos e a sua fabricação e montagem para fornecedores exclusivos que tenham esta capacidade. Entretanto, segundo a literatura, tal aplicação traz uma série de desafios para os fornecedores das montadoras, entre eles:

- Implementar cadeia de suprimento modular não é uma tarefa fácil (DORAN, 2005);
- Atender a empresa de forma sincronizada (FREDRIKSSON, 2006), realizando a entrega dos módulos na linha de produção da montadora diariamente (SALERNO *et al.*, 2009; DORAN, 2004).
- Necessidade de transferir as operações não importantes para os fornecedores de 2º e 3º nível (DORAN, 2002, 2003, 2004, 2005) e administrar estes fornecedores (DORAN *et al.*, 2007).

Deste modo, torna-se importante estudar tais questões teoricamente a fim de debater e aprofundar o tema. O objetivo desta pesquisa é utilizar o *Axiomatic Design* para desenvolver um modelo de implantação da estratégia modular nos fornecedores da indústria automobilística considerando as competências organizacionais e aspectos de gestão necessários para realizar esta implantação. Para atender a este objetivo foi realizada uma revisão de literatura para identificar as estratégias e competências necessárias para a implantação da modularidade.

2 METODOLOGIA

Este trabalho é uma pesquisa teórica e conceitual que utiliza dados de revisão de literatura sobre o *Axiomatic Design* para desenvolver um modelo de implantação da estratégia modular. A pesquisa Bibliográfica foi realizada na base de dados do portal de periódicos da CAPES abrangendo publicações dos últimos 10 anos. Este levantamento buscou identificar

trabalhos com informações sobre o uso da estratégia modular; estratégia genérica da administração, além de terceirização; critérios de seleção de fornecedores; métodos para modular produtos e produção.

3 REVISÃO DE LITERATURA SOBRE O AXIOMATIC DESIGN

3.1 Exemplos de aplicação do *axiomatic design*

A seguir são apresentados exemplos da aplicação do *Axiomatic Design* (AD).

Weng e Jenq (2012) utilizaram com sucesso o *Axiomatic Design* para desenvolver um modelo de tomada de decisão na seleção e compra de máquinas de manufaturas considerando custos, qualidade, tempo e demais requisitos dos clientes finais.

Büyüközkan et al. (2012) utilizaram *fuzzy Axiomatic Design*, *AHP fuzzy*; *fuzzy multicriteria decision-making technique e similarity to ideal solution* para identificar as ferramentas de logística móvel, em tecnologia de informação, mais adequadas para a administração da cadeia de suprimentos. O método foi testado com sucesso.

Turhan et al. (2011) desenvolveram um modelo de reengenharia de cadeia de suprimentos utilizando o *Axiomatic Design* e o *Balanced Scorecard*, cuja aplicação simulada foi realizada e indicou possíveis melhorias na cadeia de suprimentos mas, segundo os autores, o modelo precisa ser testado em aplicações práticas.

Carnevalli et al. (2010) utilizaram o *Axiomatic Design* para desenvolver um modelo de aplicação que minimize dificuldades do uso do QFD. Verificou-se que o *Axiomatic Design* pode ser usado para criar modelo de implementação. Entretanto, falta testá-lo na prática.

Calarge (2001) utilizou o *Axiomatic Design* com o *Balanced Scorecard* para desenvolver um modelo de visão sistêmica da qualidade que atendesse os requisitos dos clientes da empresa.

Estes exemplos mostram uma grande abrangência do método que pode ser usado para projetar modelos de visão sistêmica da qualidade; modelo de implementação de métodos complexos como o QFD e reprojeto de cadeia de suprimentos. Assim, verifica-se a possibilidade do uso do *Axiomatic Design* para desenvolver um modelo de implantação da estratégia modular. A seguir será apresentado o método de pesquisa deste projeto.

3.2 Método do *Axiomatic Design*

O *Axiomatic Design* (AD) é um método para desenvolvimento de projeto criado por Suh, e visa buscar a melhor solução para determinado problema (SUH, 1990). A lógica do AD é buscar a solução mais simples para resolver o problema proposto.

A aplicação completa do *Axiomatic Design* trabalha com até quatro domínios (SUH, 1990):

- **Domínio do cliente** que identifica os requisitos dos clientes (CAs: *Customer Attributes*);
- **Domínio funcional** que define os requisitos funcionais (FRs: *Functional Requirements*) para atender os CAs;
- **Domínio físico** define os parâmetros de projetos (DPs: *Design Parameters*) que atendem os FRs;
- **Domínio do processo** define as variáveis de processo (PVs: *Process Variables*) que atendem os DPs.

Após definidos os CAs a serem atendidos, define-se um FR inicial de um só item e um DP que o atende. A partir do FR1 e DP1, desdobra-se o processo em *zig zag* onde os FRs de cada nível são primeiro atendidos pelos DPs do mesmo nível para, então, serem detalhados em mais um subitem até o projeto ser suficientemente detalhado (SUH, 1990, 2001).

Para criar a melhor solução, Suh (2001) desenvolveu dois axiomas: o **Axioma da Independência** (axioma 1) e o **Axioma da Informação** (axioma 2).

Axioma da Independência (SUH, 2001): Num projeto ideal, cada DP atende apenas a um FR (projeto *uncoupled*). Num projeto aceitável, os DPs podem ser implementados numa ordem definida para manter a independência de cada FR (projeto *decoupled*). Quando FRs não são independentes trata-se de um projeto complexo (projeto *coupled*) que não atende o axioma 1.

Matematicamente Suh (1990 apud CARNEVALLI, 2007) representa o axioma 1 como:

$$\{\text{FR}\} = [\text{A}] \times \{\text{DP}\} \quad \text{Eq. (1)}$$

{FR}: vetor de requisitos funcionais; {DP}: vetor de parâmetros de projetos; [A]: matriz de projetos que indica a correlação entre os FRs e DPs através dos seus elementos A_{ij} conforme a Tabela 1. Esta equação é válida para projeto que representa um sistema linear, com os elementos [A] constantes e com o número de DPs igual ao de FRs.

Axioma da Informação (SUH, 1990): Uma vez que o axioma 1 tenha sido satisfeito, no caso que exista mais de um projeto para resolver o problema proposto, deve-se escolher o mais simples. Segundo Suh (1990), o Axioma 2 mede a quantidade de informações

(“instruções”) necessárias para aplicar o projeto e, por esta lógica, quanto menor for esta necessidade mais simples é o projeto e melhor ele será. Matematicamente, o axioma 2 pode ser calculado em consonância com a equação 2, a qual tem que ser aplicada em cada FR para calcular a quantidade de informação necessária (SUH, 1990 apud CARNEVALLI, 2007):

$$I = \text{Log}_2\left(\frac{1}{p}\right) \quad \text{Eq.(2)}$$

I: conteúdo de informação; p: probabilidade de 0 a 1 de se satisfazer FR;

Concluídos os desdobramentos em processo zig zag dos DPs e FRs, realiza-se a matriz de projeto consolidada, para verificar se os relacionamentos entre os FRs mais detalhados da estrutura hierarquizada com os DPs não violam o axioma 1. (CALARGE, 2001 apud CARNEVALLI, 2007).

A sequência correta de aplicação do *Axiomatic Design* é definida utilizando o diagrama de módulo e junção com o fluxograma (ver Tabela 1). Para Suh (2001) módulo é uma linha da matriz de projeto que ao ser multiplicado por seu DP atende o FR da linha. No projeto *uncoupled* a ordem de implementação dos DPs não afetam os resultados, então o diagrama apresenta uma relação de soma (S). Já em projetos *decoupled* a ordem da implementação afeta os resultados, então o diagrama mostra uma relação de controle (C) sendo que os DPs devem serem aplicados na ordem definida (ver, Suh, 2001).

Tabela 1 – Tipo de projeto e Diagrama de Módulo e Junção.

Tipos de Projeto		Diagrama de Módulo e Junção
<i>Uncoupled</i>	$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A11 & 0 \\ 0 & A22 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \end{Bmatrix}$	 (Relação de Soma)
<i>Decoupled</i>	$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A11 & 0 \\ A21 & A22 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \end{Bmatrix}$	 (Relação de Controle)
<i>Coupled</i>	$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A11 & A12 \\ A21 & A22 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \end{Bmatrix}$	 (Relação de <i>Feedback</i>)

Fonte: Adaptado de Suh (1990) e Carnevalli (2007, p. 25, 30).

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO DESENVOLVIMENTO DO AXIOMATIC DESIGN

Com o objetivo de desenvolver um modelo proposto deve-se inicialmente definir o domínio do cliente e seus atributos. A implantação da estratégia modular tem sido realizada pelos fornecedores automobilísticos para poderem assumir as atividades terceirizadas pelos clientes. Deste modo, o modelo tem que atender os atributos dos clientes montadoras, que estão relacionadas aos critérios de seleção de fornecedores de módulos. Assim, os principais

Atributos dos Clientes (CA) são:

CA1: A maturidade da empresa (PRIETO; MIGUEL, 2011); CA11: *Know-how* no segmento para projetar os módulos (PRIETO; MIGUEL, 2011; PIRES; SACOMANO NETO, 2010); CA12: *Know-how* no segmento para fabricar os módulos (RODRIGUES; 2005); CA13: *Know-how* no segmento para entregar os módulos (ZAREI *et al.*, 2011);

CA2: Atender as exigências de qualidade dos produtos e serviços oferecidos (HO *et al.*, 2011); CA21: A busca da melhoria contínua com relação à qualidade e a produtividade (HO *et al.*, 2011);

CA3: Ser competitivo em relação aos custos (RODRIGUES; 2005);

CA4: Saúde financeira (HO *et al.*, 2011; HO *et al.*, 2010; PIRES; SACOMANO Neto, 2010; CHOI; HARTLEG, 1996 apud RODRIGUES, 2005, p. 101);

CA41: Lucratividade da empresa (CHOI; HARTLEG, 1996 apud RODRIGUES, 2005, p. 101);

CA5: Relacionamento com os clientes (HO *et al.*, 2010);

CA6: Mínimo risco associado à empresa; CA61: Mínimo risco de falta de qualidade; CA62: Mínimo risco de atraso nas entregas; CA631: Mínimo risco de atraso nas entregas pela distância do fornecedor ao cliente (NG, 2008); CA632: Mínimo risco sobre a reputação da empresa na visão dos seus clientes (HO *et al.*, 2011; HO *et al.*, 2012);

CA7: “Ter operações flexíveis à demanda” (CARNEVALLI *et al.*, 2013, p. 335).

Verifica-se que os principais atributos dos clientes estão relacionados com o *Know-how* das empresas; nível de qualidade dos produtos e serviços oferecidos; saúde financeira; flexibilidade logística, riscos associados e preço competitivo.

Definidos os atributos dos clientes deve-se buscar atendê-los no domínio funcional através da definição de um ou mais FRs. Deste modo, FR1 é “Desenvolver as competências necessárias para ser fornecedor de módulos da montadora”. A partir do momento que a empresa desenvolve as competências em *know-how*, qualidade, custos e logística ela diretamente atende os atributos CA1; CA2; CA3; CA7 e indiretamente atende os requisitos CA5 e CA6. Isto porque, só é possível desenvolver as competências logísticas necessárias para ser fornecedor de módulo se existe um forte relacionamento com o cliente. Ao mesmo tempo conforme as competências são desenvolvidas, vai-se minimizando os riscos associados a empresa de qualidade e atraso. Parcialmente o FR1 também ajuda a atender o CA4, pois conforme a empresa desenvolve as competências necessárias para se diferenciar da concorrência, aumenta as chances de sobrevivência no mercado.

Este primeiro requisito funcional tem que ser atendido plenamente no Domínio Físico através do DP1 o qual neste caso é “Modelo de implementação da estratégia modular”.

Com o FR1 atendido pelo DP1, retorna-se ao FR1: “Desenvolver as competências necessárias para ser fornecedor de módulos da montadora”; para que este seja desdobrado nos itens do 2º Nível na estrutura hierárquica. A questão que surge neste momento é: quais competências são necessárias desenvolver? Estas competências estão diretamente relacionadas aos atributos dos clientes. Deste modo o FR1 foi desdobrado nos seguintes itens:

FR11: “Desenvolver as competências necessárias de relacionamento com os clientes”;

FR12: “Desenvolver as competências necessárias de projeto de módulo”;

FR13: “Desenvolver as competências necessárias de manufatura dos módulos”;

FR14: “Desenvolver as competências necessárias de logística”;

O FR11 Atende ao atributo CA5: “Relacionamento com os clientes” (ver, Ho *et al.*, 2010). Este é um requisito funcional muito importante, pois somente com uma relação de parceria e de confiança mútua entre as empresas é possível aplicar a modularidade.

O FR12 está relacionado com o CA11: “*Know-how* no segmento para projetar os módulos” (PRIETO; MIGUEL, 2011; PIRES; SACOMANO NETO, 2010) e o CA2: “Atender as exigências de qualidade dos produtos e serviços oferecidos”.

O FR13 atende os atributos CA12: “*Know-how* no segmento para fabricar os módulos” (RODRIGUES, 2005); CA2: “Atender as exigências de qualidade dos produtos e serviços oferecidos” (HO *et al.*, 2011); parcialmente os atributos CA13: “*Know-how* no segmento para entregar os módulos” (ZAREI *et al.*, 2011); e o CA7: “Ter operações flexíveis à demanda” (CARNEVALLI *et al.*, 2013, p. 335).

O FR14 atende diretamente os atributos dos clientes CA62: “Mínimo risco de atraso nas entregas”; CA631: “Mínimo risco de atraso nas entregas pela distância do fornecedor ao cliente” (NG, 2008) e CA7: “Ter operações flexíveis à demanda” (CARNEVALLI *et al.*, 2013).

Definidos os FRs do 2º nível, retorna-se para o DP1 “Modelo de implementação da estratégia modular” para que estes sejam desdobrados nos DPs para atender os FRs, os quais são:

DP11: “Implementar departamento de gestão de clientes com competências de suporte”;

DP12: “Implementar departamento de projeto de produto com competências essenciais”;

DP13: “Implementar departamento de manufatura com competências distintivas”;

DP14: “Implementar departamento de logística com competências essenciais”.

O DP11 atende o FR11 e parcialmente os FR12, FR13 e FR14, apesar de o DP11 não gerar todas as competências necessárias para atender os FR12; FR13; FR14. Isto porque essas competências também dependem de um portfólio de recursos como *know-how*, recursos humanos e infraestrutura, entre outros, conforme a visão de Fleury e Fleury (2004).

Para satisfazer o FR12 o DP1 foi desdobrado em DP12: “Implementar departamento de projeto de produto com competências essenciais”. As competências essenciais são segundo Mills *et al.* (2002) competências e atividades mais elevadas, no nível corporativo, que são chave para a sobrevivência da empresa e centrais para sua estratégia. Isto porque a montadora só vai terceirizar tais atividades se o fornecedor puder realizá-las de forma mais eficiente e eficaz ou seja com competências essenciais. O DP12 atende os requisitos FR12 e FR13. Isto porque o departamento de projeto de produto ajuda a desenvolver as competências necessárias para implantar uma manufatura.

Para satisfazer o FR13 o DP1 foi desdobrado em DP13: “Implantar departamento de manufatura com competências distintivas”, as quais também ajudam a atender o FR14, ao dar suporte em qualidade, capacidade e flexibilidade produtiva para aplicar o JIT.

Para satisfazer o FR14 o DP1 foi desdobrado em DP14: “Implantar departamento de logística com competências essenciais”, que atendem apenas o FR14. Neste caso, o departamento terá que atingir níveis de competências em *JIT* e *Just-in-Sequence*.

Concluído este desdobramento realiza-se a matriz de projeto para verificar se atende o axioma 1. Verifica-se que é um projeto *decoupled* e atende o axioma 1.

$$\left\{ \begin{matrix} FR11 \\ FR12 \\ FR13 \\ FR14 \end{matrix} \right\} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ X & X & 0 & 0 \\ X & X & X & 0 \\ X & 0 & X & X \end{bmatrix} \bullet \left\{ \begin{matrix} DP11 \\ DP12 \\ DP13 \\ DP14 \end{matrix} \right\} \Rightarrow \begin{matrix} FR11 = X \bullet DP11 \\ FR12 = X \bullet DP11 + X \bullet DP12 \\ FR13 = X \bullet DP11 + X \bullet DP12 + X \bullet DP13 \\ FR14 = X \bullet DP11 + X \bullet DP13 + X \bullet DP14 \end{matrix}$$

(Matriz 1)

Com o FR11; FR12; FR13 e FR14; atendido pelos DP11, DP12, DP13, DP14 retorna-se aos FR11; FR12; FR13; FR14; para que estes sejam desdobrados.

Neste caso, iniciando-se com o FR11: “Desenvolver as competências necessárias de relacionamento com os clientes”, surge a questão: quais seriam estas competências? Estas competências estão relacionadas com: comunicação; parceria; troca de informação; contratos

de longo prazo (HO *et al.*, 2011; CHOI; HARTLEG, 1996 *apud* RODRIGUES, 2005, p. 101), os quais são essenciais para que o fornecedor tenha as informações necessárias, tanto para projetar, quanto para realizar a produção e entrega destes módulos. Deste modo, o FR11 foi desdobrado nos seguintes requisitos funcionais:

FR111: “Desenvolver relação de parceria com os clientes”;

FR112: “Desenvolver serviço de suporte após a venda” (CHOI; HARTLEG, 1996 *apud* RODRIGUES, 2005, p. 101).

Para satisfazer o FR111 o DP11 foi desdobrado em DP111: “Fechar contrato de longo prazo com o cliente” (HO *et al.*, 2011; CHOI; HARTLEG, 1996 *apud* RODRIGUES, 2005, p. 101). Isto porque segundo a literatura (CARNEVALLI *et al.*, 2013; PRIETO; MIGUEL, 2013; PIRES; SACOMANO NETO, 2010; RODRIGUES, 2005) verifica-se que a criação de parceria de longo prazo favorece a relação de confiança mútua, o que é considerado um importante benefício da modularidade. O DP111 atende o requisito FR111 e parcialmente o requisito FR112, pois estes serviços devem ser definidos por contratos.

Para satisfazer o FR112 o DP11 foi desdobrado em DP112: “Implantar serviços de suporte pós-vendas” o qual só atende o requisito FR112. Visto que desenvolver parcerias é bem mais complexo que um suporte pós-venda.

Concluído este desdobramento, realiza-se a matriz de projeto para verificar se atende o axioma 1. Verifica-se que na matriz 2 é um projeto *decoupled* e atende o axioma 1.

$$\left\{ \begin{matrix} FR111 \\ FR112 \end{matrix} \right\} \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \bullet \left\{ \begin{matrix} DP111 \\ DP112 \end{matrix} \right\} \Rightarrow \begin{matrix} FR111 = X \bullet DP111 \\ FR112 = X \bullet DP111 + X \bullet DP112 \end{matrix} \quad (\text{Matriz 2})$$

Definido o parâmetro de projeto DP12 retorna-se para o requisito FR12: “Desenvolver as competências necessárias de projeto de módulo”, para que este seja desdobrado através da seguinte questão: quais seriam as competências? Estas competências estão relacionadas com aplicar a modularidade de projeto; ser o produto e o processo conforme o projeto; avaliar o *trade-off*; analisar criticamente os requisitos e dados de projetos atuais e anteriores (ABNT ISO/TS 16949:2010); o desenvolvimento das suas competências centrais. (PRIETO; MIGUEL, 2011); ter os requisitos dos clientes bem definidos; ter tecnologia e sistema de informação compreensível (HO *et al.*, 2011); ter embalagens adequadas para o produto; ter matéria prima que atende o projeto. Após a análise destas características da qualidade o FR12 foi desdobrado nos seguintes FRs:

FR121: “Desenvolver as competências necessárias para a preservação dos dados de análises de projetos anteriores”, sendo este um dos critérios da norma ABNT ISO/TS 16949:2010;

FR122: “Desenvolver as competências necessárias para a análise das informações dos requisitos dos clientes para o projeto”. Esta é uma das competências importantes, pois uma análise errada destes dados pode gerar produtos que não atendem estes requisitos;

FR123: “Desenvolver as competências necessárias em técnicas de divisão do produto em módulos, que atendam aos requisitos dos clientes”. Nestes casos atende diretamente o atributo CA1.1: *know-how* no segmento para projetar os módulos (PRIETO; MIGUEL, 2011; PIRES; SACOMANO NETO, 2010).

Realizado o desdobramento no terceiro nível da estrutura hierárquica do requisito FR12, retorna-se para o parâmetro de projeto DP12: “Implementar departamento de projeto de produto com competências essenciais”, para que este seja desdobrado no terceiro nível da estrutura hierárquica. O DP12 foi desdobrado nos seguintes itens:

DP121: “Aplicar os procedimentos de documentação das análises dos projetos realizados anteriormente”;

DP122: “Aplicar treinamento em metodologias de análise das informações dos requisitos dos clientes para o projeto”;

DP123: “Aplicar treinamento em técnicas de divisão do produto em módulos”;

Verifica-se que o DP121 atende não somente o requisito FR121, mas também os requisitos FR122 e FR123. Isto porque todas as análises bem documentadas dos projetos anteriores servem como exemplo dos procedimentos que podem ser seguidos nos futuros projetos.

O parâmetro de projeto DP122 atende o requisito funcional FR122 assim como o requisito FR123. Isto porque é somente após entender corretamente o que os clientes desejam, que é possível fazer a correta divisão dos módulos e definir que testes de produto devem ser realizados, para verificar se atendem estes requisitos.

O parâmetro de projeto DP123 só atende o requisito funcional FR123.

Concluído este desdobramento realiza-se a matriz de projeto para verificar se atende o axioma 1. Verifica-se na matriz 3 que é um projeto *decoupled* e atende o axioma 1.

$$\begin{Bmatrix} FR121 \\ FR122 \\ FR123 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} \bullet \begin{Bmatrix} DP121 \\ DP122 \\ DP123 \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} FR121 = X \bullet DP121 \\ FR122 = X \bullet DP121 + X \bullet DP122 \\ FR123 = X \bullet DP121 + X \bullet DP122 + X \bullet DP123 \end{matrix} \quad (\text{Matriz 3})$$

Para desdobrar o DP13: “Implementar departamento de manufatura com competências distintas” no terceiro nível hierárquico retorna-se para o FR13: “Desenvolver as competências necessárias de manufatura dos módulos”. Neste caso deve-se verificar a seguinte questão: quais são as competências de manufaturas dos módulos que são necessárias? A resposta a esta questão está no estudo dos requisitos da norma ABNT ISO/TS 16949:2010 e nos seguintes requisitos de qualidade apresentados na literatura: atender os requisitos dos clientes em conformidade; durabilidade; confiabilidade e desempenho das características dos produtos (CARVALHO *et al.*, 2005; SLACK *et al.*, 2009; DAVIS *et al.*, 2001; MIGUEL, 2001). Após esta análise, os requisitos foram desdobrados nos seguintes itens:

FR131: “Processo de manufatura (fabricação e montagem) dos módulos que atendam aos requisitos de prazo de produção definidos pelos clientes”;

FR132: “Processo de fabricação das peças dos módulos que atendam aos requisitos de qualidade dos clientes”;

FR133: “Processo de manufatura (fabricação e montagem) dos módulos que atendam aos requisitos de volume de produção definidos pelos clientes”;

FR134: “Processo de montagens dos módulos que atendam aos requisitos de qualidade dos clientes”.

Realizado o desdobramento dos FRs retorna-se ao DP13: “Implementar departamento de manufatura com competências distintas” para que este seja desdobrado através da seguinte questão: quais competências devem ser implementadas? O DP13 foi desdobrado nos itens:

DP131: “Definir programação dos processos de manufatura (fabricação e montagem) dos módulos que atenda os prazos de produção definidos pelos clientes”;

DP132: “Definir processo de fabricação das peças dos módulos com capacidade de processos que atenda aos requisitos de qualidade dos clientes com competências distintas”;

DP133: “Definir a capacidade de processo (volume produtivo) da manufatura dos módulos necessária para atender os volumes de produção definidos”;

DP134: “Definir os processos de montagens dos módulos com capacidade de processos que atenda aos requisitos de qualidade com competências distintas”.

Em relação ao DP131 a programação de montagem tem que atender o volume e prazo de produção definidos pelos clientes; deste modo este parâmetro de projeto atende o requisito FR131 e o FR133 mas não os demais FR, pois produtividade pode ocorrer independentemente

do nível de qualidade. Nos casos em que a empresa terceirizou parte da fabricação das peças, esta programação tem que ser realizada em conjunto com os fornecedores de segundo nível.

O DP132 atende os FR132 e FR134, pois se as peças não atenderem o nível de qualidade exigido, os processos de montagens dos módulos estarão apenas montando módulos defeituosos. Por outro lado, as empresas podem ter altos níveis de qualidade, mas não um nível de produtividade suficiente. Por isto o DP132 não atende o FR131 e o FR133. Nos casos em que parte da fabricação das peças dos módulos foi terceirizada para o fornecedor do segundo nível, a empresa continua como responsável pela qualidade (ABNT ISO/TS 16949:2010).

Em relação ao DP134 este só atende o FR134. Isto porque a qualidade dos processos de montagens não estão diretamente ligadas a produtividade, ou com a qualidade da fabricação.

Sobre o DP133 este só atende o FR133, pois o fato de se ter capacidade produtiva para atender o volume de produção requerida pelo cliente não significa que a empresa vai atender o prazo de entrega, visto que erros de programação da produção podem atrasar as entregas. Por outro lado, quando a empresa terceirizar parte da manufatura para seus fornecedores estes também dependem da correta programação da produção para atender o FR133.

Concluído este desdobramento, deve-se realizar a matriz de projeto para verificar se atende o axioma 1. Verifica-se na matriz 4 que é um projeto *decoupled* e atende o axioma 1.

$$\left\{ \begin{array}{l} FR131 \\ FR132 \\ FR133 \\ FR134 \end{array} \right\} = \left[\begin{array}{cccc} X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 \\ X & 0 & X & 0 \\ 0 & X & 0 & X \end{array} \right] \bullet \left\{ \begin{array}{l} DP131 \\ DP132 \\ DP133 \\ DP134 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} FR131 = X \bullet DP131 \\ FR132 = X \bullet DP132 \\ FR133 = X \bullet DP131 + X \bullet DP133 \\ FR134 = X \bullet DP132 + X \bullet DP134 \end{array} \quad (\text{Matriz 4})$$

Continuando o desdobrando do DP14: “Implementar departamento de logística com competências essenciais” para o terceiro nível hierárquico. Retornar para o FR14: “Desenvolver as competências necessárias de logística” com a seguinte questão: quais são as competências necessárias de logística que o fornecedor de módulos deve desenvolver internamente ou terceirizar para atender todos os requisitos da montadora? A resposta a esta questão está na revisão de literatura realizada as quais são: custos de transporte (PIRES; SACOMANO NETO; 2010); "conformidade da lista de materiais" entregues (PIRES; SACOMANO NETO; 2010, p. 180); desempenho na programação de entrega (ABNT ISO/TS 16949:2010); flexibilidade em categorias de serviços disponíveis em logística (HO *et. al*, 2012), flexibilidade em capacidade de variação de volume e flexibilidade em *Lead Time* de

entrega (CHOI; HARTLEG, 1996 *apud* RODRIGUES, 2005, p. 101); avaliar prazos de entregas (PIRES; SACOMANO NETO; 2010); além de realizar o reabastecimento *just-in-sequence* (PIRES; SACOMANO NETO; 2010). Deste modo, consideradas as informações levantadas o FR14 foi desdobrado nos seguintes itens:

FR141: “Desenvolver as competências necessárias de preços de serviços logísticos;

FR142: “Desenvolver as competências necessárias de flexibilidade para atender a variação de volume e prazos de entregas” (PIRES; SACOMANO NETO; 2010; CHOI; HARTLEG, 1996 *apud* RODRIGUES, 2005);

FR143: “Desenvolver as competências necessárias na programação de entregas *Just-In-Time*” (ABNT ISO/TS 16949:2010);

Concluído o desdobramento dos FR14 retorna-se para o DP14: “Implementar departamento de logística com competências essenciais” para se identificar quais são as competências essenciais necessárias para atender os requisitos FR141; DFR142 e o FR143. O DP14 foi desdobrado nos seguintes itens:

DP141: “Implementar departamento de logística com custos competitivos de transporte, mas que atendam aos requisitos dos clientes”;

DP142: “Implementar departamento de logística com capacidade de atender entregas com volume e prazos de entregas variados” (CHOI; HARTLEG, 1996 *apud* RODRIGUES, 2005, p. 101).

DP143: “Implementar departamento de logística com metodologia de entrega programada *Just – In – Time*” (ABNT ISO/TS 16949:2010);

O parâmetro de projeto DP141 atende ao requisito funcional FR141 e os requisitos FR142; FR143. Isto porque os custos logísticos geram um *trade-off* com o nível de serviço oferecido. Ou seja, para atender aos requisitos dos clientes, o sistema de transporte utilizado tem que ser competitivo em relação às empresas que mantem nível de qualidade de serviços logísticos aceitáveis e não numa política de menor preço que prejudique a qualidade do serviço.

O parâmetro de projeto DP142 atende somente o requisito FR142. O DP142 não atende o FR141 pois não é possível garantir só com este requisito se os preços de transporte serão competitivos. Do mesmo modo, ter capacidade de atender o volume de pedidos variados não significa que a empresa trabalhe ou não com programação de entregas no sistema *just in time* do FR143; apesar de ajudar nesta programação.

O DP143 atende os requisitos FR143, mas não o FR142. Isto porque o *Just – In – Time* ajuda a atender os prazos de entregas dos clientes, mas não garante devido ao alto nível de serviço logístico que os custos serão competitivos e que tem flexibilidade para atender a variações de volume de produtos por entregas. Isto porque no nível de produção e de serviço logístico, as empresas buscam trabalhar de forma enxuta com um nível de flexibilidade de capacidade limitada quando utilizam o JIT, que é parte da manufatura enxuta.

Concluindo este desdobramento realizar a matriz de projeto para verificar se atende o axioma 1. Verifica-se que é um projeto *decoupled* e atende o axioma 1.

$$\begin{cases} FR141 \\ FR142 \\ FR143 \end{cases} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & 0 & X \end{bmatrix} \bullet \begin{cases} DP141 \\ DP142 \\ DP143 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} FR141 = X \bullet DP141 \\ FR142 = X \bullet DP141 + X \bullet DP142 \\ FR143 = X \bullet DP141 + X \bullet DP143 \end{cases} \text{ (Matriz 5)}$$

3.1.3 - 4º Nível na estrutura hierárquica

O quarto nível da estrutura hierarquizada será desdobrado separadamente pelos itens FR111; FR112; FR131; FR132; FR134; FR142 e o FR143; assim como os seus correspondentes DP (DP111; DP112; DP131; DP132; DP134; DP142 e DP143). Os FR121; FR122; FR123; FR133; FR141, assim como os DP121; DP122; DP123; DP133 e o DP141 não serão mais desdobrados pois já estão suficientemente detalhados para serem implantados no modelo teórico de implantação da estratégia modular.

Definidos os requisitos funcionais do 4º nível retorna-se ao FR111: “Desenvolver relações de parcerias com os clientes” com a seguinte questão: o que seria uma relação de parceria? A resposta a esta questão está na literatura quando cita o uso do condomínio industrial e do consórcio modular no setor automotivo. Com isto o FR111 foi desdobrado em:

FR1111: “Exclusividade de fornecimento de longo prazo” (PIRES *et al.*, 2010; PIRES, 2014; 2002);

FR1112: “Troca de informações estratégicas” (VANALLE; SALLES ,2011; PIRES *et al.*, 2010);

FR1113: “Troca de informações de Projeto” (PIRES *et al.*, 2010; VANALLE; SALLES, 2011).

Concluindo o desdobramento dos FRs retorna-se ao DP111: “Fechar contrato de longo prazo com o cliente” para que este seja detalhado nos seguintes itens:

DP1111: “Contrato de exclusividade de fornecimento de longo prazo” (PIRES, 2014; VANALLE; SALLES ,2011);

DP1112: “Troca de informações estratégicas definidas por contrato”;

DP1113: “Parceria de projeto definido em contrato”.

Verifica-se que o DP1111 só atende o FR1111. Isto ocorre porque ter contrato de longo prazo não significa que a empresa vai trocar informações de projeto ou informações estratégicas, podendo ser apenas um fornecedor de matéria prima como uma siderúrgica.

Em relação ao DP1112, este atende o FR1112 e o FR1113, pois as informações de projeto é um item específico de informações estratégicas.

O DP1113 atende apenas o FR1113 pois apesar de ocorrer a troca de informações estratégicas na área de projeto ele não é suficientemente amplo para atender o FR1112. Isto porque o FR1112 também informa a troca de informações de programação de produção; nível de estoque; entre outras.

Verifica-se que é um projeto *decoupled* e atende o axioma 1.

$$\begin{cases} FR1111 \\ FR1112 \\ FR1113 \end{cases} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & X & X \end{bmatrix} \bullet \begin{cases} DP1111 \\ DP1112 \\ DP1113 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} FR1111 = X \bullet DP1111 \\ FR1112 = X \bullet DP1112 \\ FR1113 = X \bullet DP1112 + X \bullet DP1113 \end{cases} \quad (\text{Matriz 6})$$

Para a definição dos requisitos funcionais do 4º nível retorna-se ao FR112: “Desenvolver serviço de suporte pós-venda” com a seguinte questão: quais serviços de pós-venda deveriam ser desenvolvidos? Considerando-se os CA6.3.2: Mínimo risco sobre a reputação da empresa na visão dos seus clientes (relacionada à qualidade do serviço e produto oferecido) (HO *et al.*, 2011; HO *et al.*, 2012), o FR112 foi desdobrado nos seguintes itens.

FR1121: “Desenvolver serviço de soluções de problemas nas entregas pós-venda”;

FR1122: “Desenvolver serviço de soluções de problemas de qualidade dos módulos pós-venda”.

Concluído o desdobramento do FR112 retorna-se para o DP112: “Implantar serviços de suporte pós-venda” para que este seja desdobrado nos seguintes itens:

DP1121: “Implantar serviços de soluções de problemas nas entregas pós-venda”;

DP1122: “Implantar serviços de soluções de problemas de qualidade dos módulos pós-venda”.

O DP1121 é muito específico e só atende o FR1121. O mesmo ocorre com o DP1122 que só atende o FR1122.

Após fazer a análise da matriz de projeto verifica-se que é um projeto *uncoupled* e atende o axioma 1.

$$\begin{Bmatrix} FR1121 \\ FR1122 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \bullet \begin{Bmatrix} DP1121 \\ DP1122 \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} FR1121 = X \bullet DP1121 \\ FR1122 = X \bullet DP1122 \end{matrix} \quad (\text{Matriz 7})$$

Após definir o DP131: “Definir programação dos processos de manufatura (fabricação e montagem) dos módulos que atendam os prazos de produção definidos pelos clientes”, retorna-se para o FR131: “Processo de manufatura (fabricação e montagem) dos módulos que atendam aos requisitos de prazo de produção definidos pelos clientes”, o qual foi desdobrado nas informações requeridas para o funcionamento de um sistema MRPII conforme Martins e Laugeni (2005), as quais são:

FR1311: “Informações de restrições de recursos produtivos disponíveis (Mão de obra e equipamentos)”;

FR1312: “Informações da demanda do Produto no período”;

FR1313: “Informações do Estoque disponível”.

Concluído o FR retorna-se para o DP131: “Definir programação dos processos de manufatura (fabricação e montagem) dos módulos que atendam os prazos de produção definidos pelos clientes” os quais foram desdobrados nas fontes de informações necessárias para atender os FRs.

DP1311: “Ter relatório de recursos produtivos disponíveis (Mão de obra e equipamentos)” (MARTINS; LAUGENI, 2005);

DP1312: “Ter relatório da demanda de pedidos dos clientes no período”;

DP1313: “Implantar Método de controle de estoques”.

Deste modo, verifica-se que são soluções muito específicas sendo que o DP1311 só atende o FR1311; o DP1312 só atende o FR1312 e o DP1313 só atende o FR1313. Assim, ao se realizar a matriz de projeto verifica-se que se trata de um projeto *uncoupled* o que atende o axioma 1.

$$\begin{Bmatrix} FR1311 \\ FR1312 \\ FR1313 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \bullet \begin{Bmatrix} DP1311 \\ DP1312 \\ DP1313 \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} FR1311 = X \bullet DP1311 \\ FR1312 = X \bullet DP1312 \\ FR1313 = X \bullet DP1313 \end{matrix} \quad (\text{Matriz 8})$$

Verifica-se que os DP131 estão relacionados com as operações de gestão de produção.

Após atendido o FR132 pelo DP132 retorna-se ao FR132: “Processo de fabricação das peças dos módulos que atendam aos requisitos de qualidade dos clientes” para verificar quais seriam estes processos. Estes processos estão relacionados com os custos de qualidade de prevenção visto que buscam garantir processos de fabricação com o nível de qualidade

exigido pelos clientes. Segundo Slack *et al.* (2009), envolvem melhoria do projeto do produto e do processo para reduzir as falhas; treinamento adequado para os funcionários realizarem seu trabalho o melhor possível e o uso do CEP (Controle Estatístico do Processo) para monitorar o processo antes que ele saia de controle e comece a fazer produtos defeituosos. Entretanto, nada disso adianta se os equipamentos utilizados não atendem os requisitos da qualidade de capacidade do processo. Ou seja, são necessárias máquinas que fabriquem as peças dentro do nível de qualidade exigido. Além disso, os aspectos de projetos são tratados em outro requisito funcional. Deste modo, considera-se somente os aspectos de produção. Assim o FR132 foi desdobrado nos seguintes níveis:

FR1321: “Desenvolver competências de fabricação nos funcionários para atender aos requisitos de qualidade dos clientes”;

FR1322: “Selecionar equipamentos de fabricação que atendam aos requisitos de qualidade dos clientes”;

FR1323: “Procedimentos de controle de qualidade eficientes de fabricação”.

Para atender os requisitos FR1321; FR 1322; FR1323 o DP132: “Definir processo de fabricação das peças dos módulos com capacidade de processos que atendam aos requisitos de qualidade dos clientes com competências distintivas” foi desdobrado nos itens:

DP1321: “Planejar treinamento em processos de fabricação que atendam aos requisitos de qualidade dos clientes” (SLACK *et al.*, 2009);

DP1322: “Identificar por manual dos fabricantes e implementar os equipamentos de fabricação necessários que atendam aos requisitos de qualidade dos clientes”;

DP1323: “Implantar o CEP nos processos de fabricação” (SLACK *et al.*, 2009).

Ao se realizar a matriz de projeto verifica-se que o DP1321 atende os requisitos FR1321 e FR1333, pois o treinamento é essencial tanto para capacitar os funcionários nos processos de fabricação com qualidade, assim como nos processos de controle de qualidade. Já nos casos dos DP1322 e DP1323 estes são independentes atendendo somente os seus respectivos requisitos funcionais, pois o uso do CEP e de identificação de equipamentos adequados não garante que os funcionários sabem operar as máquinas de forma adequada. Verifica-se que esta é uma matriz *decoupled* que satisfaz o axioma 1.

$$\begin{Bmatrix} FR1321 \\ FR1322 \\ FR1323 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ X & 0 & X \end{bmatrix} \bullet \begin{Bmatrix} DP1321 \\ DP1322 \\ DP1323 \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} FR1321 = X \bullet DP1321 \\ FR1322 = X \bullet DP1322 \\ FR1323 = X \bullet DP1321 + X \bullet DP1323 \end{matrix} \quad (\text{Matriz 9})$$

Com o DP134: “Definir os processos de montagens dos módulos com capacidade de processo que atendam aos requisitos de qualidade dos clientes com competências distintas”, retorna-se ao FR134: “Processo de montagens dos módulos que atendam aos requisitos de qualidade dos clientes” para que este seja desdobrado no 4º nível da estrutura hierárquica. Como no caso anterior do FR133, também neste caso estes processos estão relacionados com os custos de qualidade de prevenção. Novamente segundo Slack *et al.* (2009), envolvem melhoria do projeto do produto e do processo para reduzir as falhas; treinamento adequado e o uso do CEP para monitorar o nível de qualidade do processo. Também nestes casos os equipamentos utilizados tem que atender os requisitos de qualidade de capacidade do processo. Deste modo, o FR134 foi desdobrado nos seguintes níveis:

FR1341: “Competências de montagens dos funcionários para atender aos requisitos de qualidade dos clientes”;

FR1342: “Selecionar equipamentos de montagem que atendam aos requisitos de qualidade dos clientes”;

FR1343: “Procedimentos de controle de qualidade eficientes de montagem”.

Concluindo-se o desdobramento dos FR134 retorna-se para o DP134: “Definir os processos de montagens dos módulos com capacidade de processos que atendam aos requisitos de qualidade dos clientes com competências distintas”, para que este seja desdobrado nos seguintes itens:

DP1341: “Treinamento em processos de montagens que atendam aos requisitos de qualidade dos clientes” (SLACK *et al.*, 2009);

DP1342: “Identificar por manual dos fabricantes e implementar equipamentos de montagem que atendam aos requisitos de qualidade dos clientes”;

DP1343: “Implantar o CEP nos processos de montagens” (SLACK *et al.*, 2009).

Verifica-se que os resultados do desdobramento dos FR132 e FR134 são praticamente iguais. Entretanto esta redundância é necessária pois trata de requisitos diferentes, os de fabricação com os de montagem. A matriz de projeto apresenta um resultado *decoupled* que atende o axioma 1.

$$\begin{cases} FR1341 \\ FR1342 \\ FR1343 \end{cases} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ X & 0 & X \end{bmatrix} \bullet \begin{cases} DP1341 \\ DP1342 \\ DP1343 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} FR1341 = X \bullet DP1341 \\ FR1342 = X \bullet DP1342 \\ FR1343 = X \bullet DP1341 + X \bullet DP1343 \end{cases} \quad (\text{Matriz 10})$$

Concluído do DP142, retorna-se para o FR142: “Desenvolver as competências necessárias de flexibilidade para atender a variação de volume e prazos de entregas” (PIRES; SACOMANO NETO; 2010; CHOI; HARTLEG, 1996 *apud* RODRIGUES, 2005); que foi desdobrado em:

FR1421: “Selecionar equipamentos de expedição para atender a variação de volume e prazos de entregas”.

FR1422: “Definir o número de funcionários de expedição necessários para atender a variação de volume e prazos de entregas”.

Desdobrado o FR142 retorna-se ao DP142: “Implementar departamento de logística com capacidade de atender entregas com volume e prazos de entregas variados” (CHOI; HARTLEG, 1996 *apud* RODRIGUES, 2005, p. 101), para que estes sejam desdobrados de modo a atender os requisitos funcionais.

DP1421: “Identificar por manual dos fabricantes e implementar equipamentos de expedição para atender a variação de volume e prazos de entregas”. Estes equipamentos podem envolver etiqueta de rádio frequência ou códigos de barras; empilhadeiras; esteiras; porta paletes, etc. (MARTINAS; LAUGENI, 2005; MOURA, 2008).

DP1422: “Avaliar a demanda de atividades diárias para definir o número necessário de funcionários de expedição para atender a variação de volume e prazos de entregas”.

Os DP1421 e DP1422 são independentes pois definem necessidades de equipamentos e de funcionários de modo a só atender os seus respectivos FRs. Deste modo, a matriz de projetos é *uncoupled* que satisfaz o axioma 1.

$$\begin{Bmatrix} FR1421 \\ FR1422 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \bullet \begin{Bmatrix} DP1421 \\ DP1422 \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} FR1421 = X \bullet DP1421 \\ FR1422 = X \bullet DP1422 \end{matrix} \quad (\text{Matriz 11})$$

Para desdobrar o FR143: “Desenvolver as competências necessárias na programação de entregas *Just-In-Time*” (ABNT ISO/TS 16949:2010) é importante considerar que, segundo Slack *et al.* (2009), a aplicação do JIT requer ter nível de qualidade adequado que permita trabalhar com baixo nível de estoques. Para isto, os fornecedores têm que ser confiáveis, tanto na qualidade do produto que fornecem como nos cumprimentos dos prazos de entregas. Além disso, a empresa deve ter gestão da qualidade total, com funcionários capacitados e treinados em suas funções; entre outros aspectos. Além disso, segundo Pires *et al.*, (2010) o EDI é utilizado na comunicação entre montadoras e fornecedores diretos para transmitir as informações dos módulos que devem ser entregues pelos fornecedores em *Just-In-Sequence*

ou *Just-In-Sequence*. Deste modo, compartilhar informações precisas de necessidade de abastecimento logístico é essencial para o fornecedor realizar a programação de entregas *Just-In-Time*. No caso do FR143, este requisito está relacionado apenas aos aspectos de programação logística com a aplicação do JIT, pois os outros já foram tratados nos desdobramentos do FR13. Deste modo, para desenvolver as competências necessárias na programação de entregas *Just-In-Time* são necessários: um sistema de troca de informação eficiente entre fornecedor, cliente e produção; funcionários bem treinados com os processos e equipamentos necessários. Assim o FR143 foi desdobrado em:

FR1431: “Desenvolver as competências dos funcionários necessárias na programação de entregas *Just-In-Time*” (SLACK *et al.*, 2009; ARNHEITER; GREENLAND, 2008);

FR1432: “Ter sistemas de compartilhamento de informação eficiente entre a empresa e o cliente” (PIRES *et al.*, 2010). Concluído este desdobramento retorna-se para o DP143: “Implementar departamento de logística com metodologia de entrega programada *Just – In – Time*”, o qual foi desdobrado em:

DP1431: “Treinamento em programação *Just-In-Time*”;

DP1432: “Implementar o sistema EDI com o cliente”;

Os DP1431 e DP1432 são independentes atendendo somente os seus FRs.

Como resultado, a matriz de projeto é *uncoupled* e satisfaz o axioma 1.

$$\begin{Bmatrix} FR1431 \\ FR1432 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \bullet \begin{Bmatrix} DP1431 \\ DP1432 \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} FR1431 = X \bullet DP1431 \\ FR1432 = X \bullet DP1432 \end{matrix} \quad (\text{Matriz 12})$$

Concluído o desdobramento do quarto nível hierárquico, os Requisitos Funcionais e Parâmetros de Projetos, verifica-se que já estão suficientemente detalhados para a sua aplicação no DP1: “Modelo de implementação da estratégia modular”. Deste modo todo o detalhamento realizado é apresentado na Figura 1.

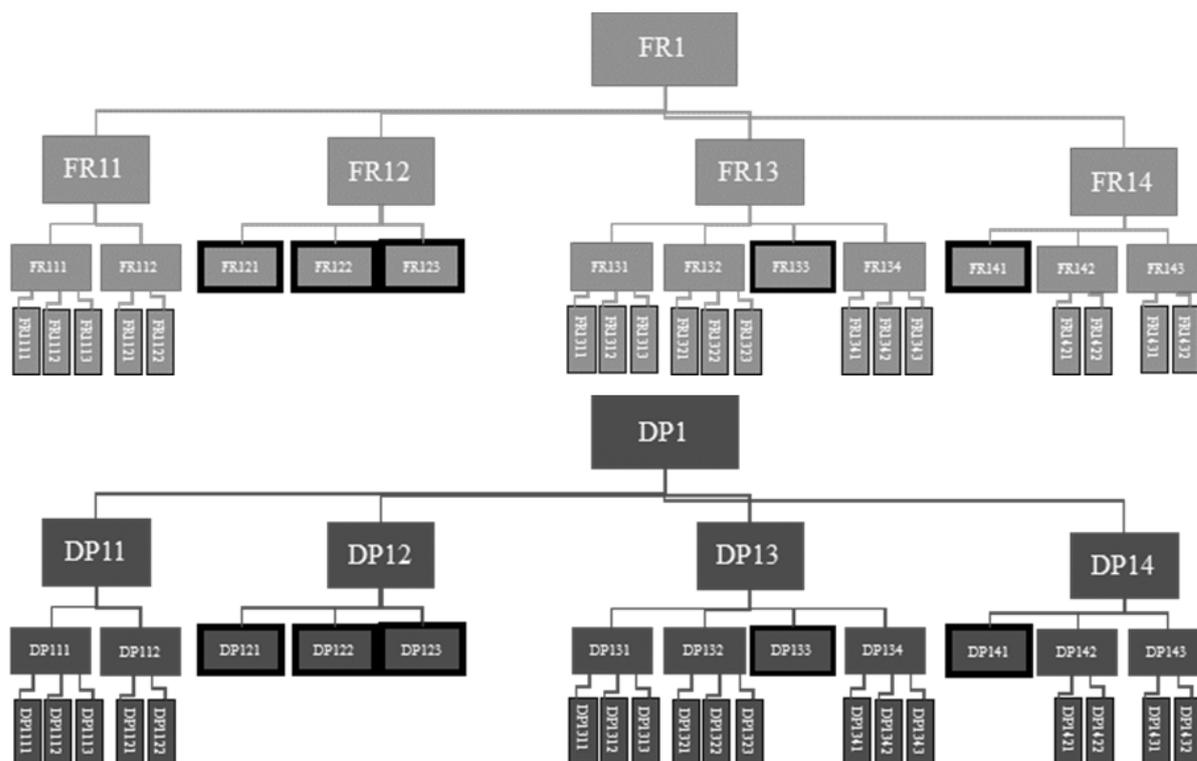


Figura 1 – Estrutura hierárquica do FR e do DP.

Fonte: elaborada pelos autores.

4.1 Desenvolvimento do diagrama de módulos e junção do modelo proposto

Conforme já apresentado na metodologia, concluída a matriz de projeto realizou-se a matriz consolidada, conforme apresentado na Figura 2. Esta matriz verifica se as correlações dos FRs e DPs do mais baixo nível da estrutura hierarquizada atende o axioma 1, ou seja, se o projeto como um todo é satisfatório. Caso isto não ocorra, é necessário fazer alterações utilizando os corolários e teoremas definidos por Suh (CALARGE, 2001). A matriz consolidada apresentou um resultado *decoupled* atendendo o axioma 1.

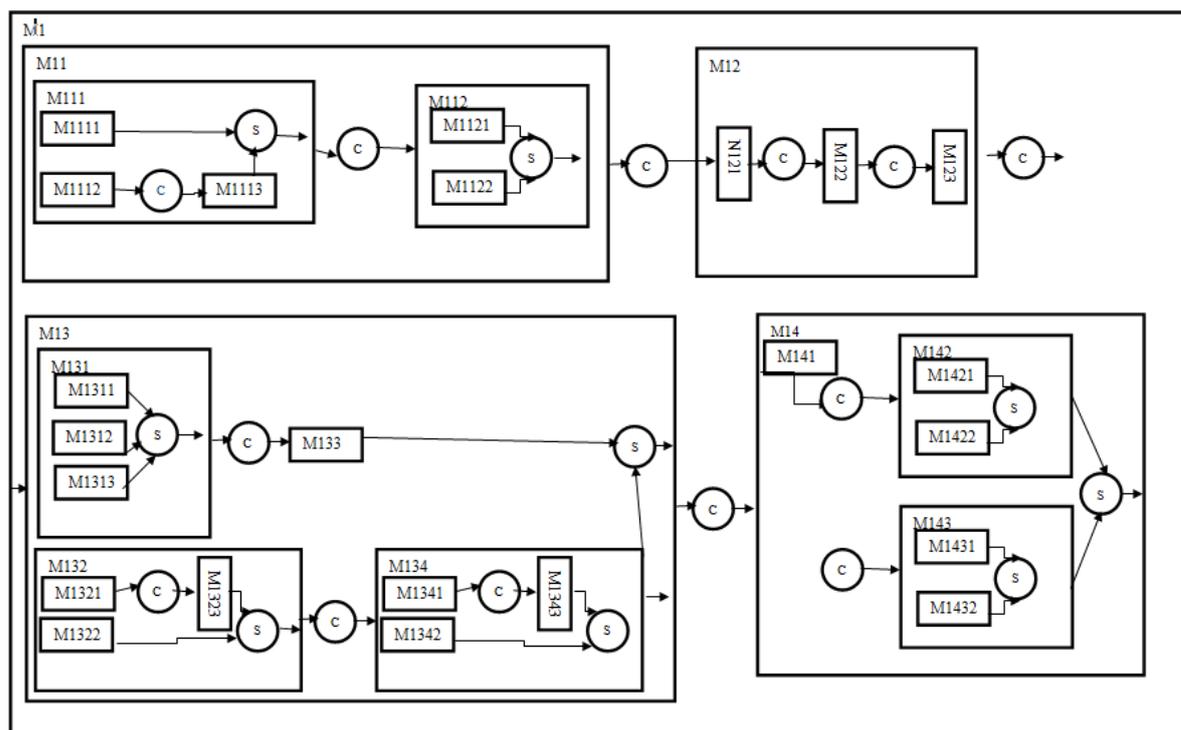


Figura 3 - Diagrama de módulos e junção.

Fonte: elaborada pelos autores.

5 CONCLUSÕES

Este estudo apresentou os resultados do desenvolvimento do modelo teórico de implantação da estratégia modular utilizando-se o *Aximatic Design*. Verificou-se que os principais atributos dos clientes para a seleção de fornecedores de módulos são o *Know-How* das empresas, nível de qualidade dos produtos e serviços oferecidos; saúde financeira; flexibilidade logística, riscos associados e preço competitivo. Isto significa que a montadora só irá terceirizar atividades para os seus fornecedores se estes conseguirem realizá-las de forma satisfatória e num custo que justifique a terceirização. Por esta razão, quando se faz o desdobramento da estrutura hierárquica do AD verifica-se a necessidade de que os fornecedores tenham instalados departamentos de gestão de clientes com competências de suporte; departamento de manufatura com competências distintas; departamento de projeto de produto e de logística com competências essenciais e gestão do conhecimento e da informação. Isto porque não basta ter os departamentos necessários para aplicar a modularidade se estes não atendem um nível de competência exigido pelos clientes. É lógico que isto não significa, por exemplo, que o fornecedor tenha que ter competências essenciais em todas as atividades logísticas, pois algumas delas podem ser terceirizadas para empresas

específicas neste ramo e com um custo mais competitivo. Entretanto a gestão e planejamento destas atividades tem que ser feitas internamente de forma muito competente, pois elas que responderão pelas falhas perante os clientes e montadoras.

Em relação às atividades e responsabilidades transferidas pelas montadoras para os fornecedores, foi possível identificar a transferência de parte do projeto e fabricação do módulo, a transferências das atividades de montagens dos módulos e a gestão logística, em alguns casos. Verificou-se também a grande importância das competências do departamento de projeto de produto, visto que a empresa não mais projetará apenas peças mas também módulos, tendo que estar muito mais alinhada com as necessidades dos clientes, já que ficaram responsáveis por grandes partes do projeto.

Com a conclusão do desdobramento do modelo proposto e a elaboração da sequência de aplicação com o diagrama de módulo e junção e fluxograma confirmou a viabilidade do uso do AD em atender o objetivo deste trabalho.

Originais recebidos em: 22/01/2017

Aceito para publicação em: 31/07/2017

DEVELOPMENT OF A MODEL OF IMPLEMENTATION OF THE MODULAR STRATEGY UTILIZING THE AXIOMATIC DESIGN

ABSTRACT: The modularity strategy contributes towards the partnership between automakers and suppliers in making the outsourcing on the part of the design activities, manufacture and assemblies of the vehicles. However, that strategy gives rise to challenges for the suppliers to adapt themselves to the new requirements and activities taken. This way, it is the objective of this research work to develop a theoretical model of deployment of the modular strategy in the suppliers through the use of Axiomatic Design (AD) utilizing bibliographic research data. It was found that the main attributes of the automakers for the selection of modulus suppliers are the Know-How of the enterprises, level of quality of the products and services supplied; financial health; logistics flexibility, associated risks and competitive price. This means that the automakers will only outsource activities for its suppliers if these succeed in accomplishing them in a satisfactory manner and at a cost which justifies the outsourcing. For this reason when the split of the hierarchical structure of the AD is performed, the need that the suppliers have installed departments of customer management, of manufacture, product design and of logistics with competencies which meet the level of competency demanded by the automakers is checked. It logical that this does not mean that the supplier cannot outsource some of these activities to specific enterprises but it will be itself which will account for the failures in the customer. With the conclusion of the split of the proposed model and the making of the sequence of application with the package and junction diagram and flowchart confirmed the viability of the use of the AD in meeting the objective of this size.

Keywords: Axiomatic Design. Modularity. Outsourcing. Automotive sector.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009) ISO/TS 16949:2010. Sistemas de Gestão da Qualidade - Requisitos particulares para aplicação da ABNT NBR ISO 9001:2008 para organizações de produção automotiva e peças de reposição pertinentes. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT. 2009.

ARNHEITER, E.D.; GREENLAND, J.E. **Looking for root cause: a comparative analysis.** The TQM Journal. v. 20, n. 1, p. 18-30, 2008.

ARNHEITER, E. D.; HARREN, H. **A typology to unleash the potential of modularity.** Journal of Manufacturing Technology Management. v. 16, n. 7, p. 699-711, 2005.

BÜYÜKÖZKAN, G.; ARSENYAN, J.; RUAN, D. **Logistics tool selection with two-phase fuzzy multi criteria decision making: A case study for personal digital assistant selection.** Expert Systems with Applications, v. 39, p. 142-153, 2012.

CALARGE, F. A. **Visão sistêmica da qualidade**. São Paulo: Artliber, 2001.

CARNEVALLI, J. A. **Proposta de um Modelo Baseado no Projeto Axiomático para Minimizar as Dificuldades no Uso do QFD**. 2007. 274 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste. 2007.

CARNEVALLI, J. A. *et al.* **Modularidade em montadoras de automóveis: uma análise sob a ótica da estratégia**. In. SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – SIMPEP, 10. 2013, Bauru, Brasil, Anais... 2013.

CARNEVALLI, J. A.; *et al.* **Relatório Científico do Pós-Doutorado para a FAPESP: Proposta de um levantamento de campo sobre a adoção da modularidade em empresas do setor automotivo visando investigar aspectos sobre a sua aplicação**. São Paulo: Poli/USP, 2010.

CARNEVALLI, J. A.; MIGUEL, P. A. C.; CALARGE, F. A. **Axiomatic design application for minimising the difficulties of QFD usage**. International Journal of Production Economics, v. 125, n. 1-12, 2010.

CARVALHO, M. M. de *et al.* **Gestão da qualidade**. Teoria, casos. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

CHOI, T.Y.; HARTLEY, J.L. **An Exploration of supplier practices across the supply chain**. In: RODRIGUES, E. de O. Metodologia para formação de parceria em cadeia de suprimentos: enfoque por similaridade entre atividades. 2005. 179 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

DAVIS, M. M. et al. **Fundamentos da Administração da Produção**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DORAN, D. et al. **Manufacturing for synchronous supply: a case study of Ikeda Hoover Ltd**. Integrated Manufacturing Systems, v. 13, n. 1, p. 18-24, 2002.

DORAN, D. **Supply Chain Implications of Modularization**. International Journal of Operations and Production Management. v. 23, n. 3, p. 316-326, 2003.

DORAN, D. **Rethinking the supply chain: an automotive perspective**. Supply Chain Management: An International Journal, v. 9, n. 1, p. 102-109, 2004.

DORAN, D. **Supplying on a modular basis: an examination of strategic issues**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v. 35, n. 9, p. 654-663, 2005.

DORAN, D. et al. **Supply chain modularization: Cases from the French automobile industry**. International Journal of Production Economics, v. 106, n. 1, p. 2-11, 2007.

FLEURY, M.T.L.; FLEURY, A.C.C. **Alinhando estratégia e competências**. RAE Eletrônica, v. 44, n. 1, p. 44-57, Jan./Mar. 2004.

FREDRIKSSON, P. **Mechanisms and rationales for the coordination of a modular assembly system: The case of Volvo Cars.** International Journal of Operations & Production Management, v. 26, n. 4, p. 350-370, 2006.

HO, W. et al. **Strategic logistics outsourcing: An integrated QFD and fuzzy AHP approach.** Expert Systems with Applications, v. 39, n. 12, p. 10841-10850, 2012.

HO, W. et al. **Strategic sourcing: a combined QFD and AHP approach in manufacturing.** Supply Chain Management: An International Journal, v. 16, n. 6, p. 446-461, 2011.

HO, W. et al. **Multi-Criteria Decision Making approaches for supplier evaluation and selection.** European Journal of Operational Research, v. 202, n. 1, p. 16-24, 2010.

MARTINS, P.G.; LAUGENI, F.P. **Administração da Produção.** São Paulo: Saraiva, 2005.

MIGUEL, P.A.C. **Qualidade: enfoques e ferramentas.** São Paulo: Artliber, 2001

MILLS, J. et al. **Strategy and performance: Competing through competences.** Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

MOURA, R. A. **Check sua logística interna.** 3ª ed. São Paulo: IMAM, 2008.

NG, W. L. **An efficient and simple model for multiple criteria supplier selection problem** . European Journal of Operational Research. v. 186, p. 1059-1067, 2008

PIRES, S. R. I. **Gestão da Cadeia de Suprimentos (supply chain management): conceitos, estratégias, práticas e casos.** 2 ed. São Paulo: Atlas, 2014.

PIRES, S. R. I.; SACOMANO NETO, M. **Características estruturais, relacionais e gerenciais na cadeia de suprimentos de um condomínio industrial na indústria automobilística.** Produção, v. 20, n. 2, p. 172-185, 2010.

PRIETO, E.; MIGUEL, P. A. C. **Adoção da estratégia modular por empresas do setor automotivo e as implicações relativas à transferência de atividades no desenvolvimento de produto: um estudo de casos múltiplos.** Gestão & Produção. v. 18, n. 2, P. 425-442, 2011.

RODRIGUES, E. de O. **Metodologia para formação de parceria em cadeia de suprimentos: enfoque por similaridade entre atividades.** 2005. 179 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SALERNO, M. S. et al. **The importance of locally commanded design for the consolidation of local supply chain: the concept of design headquarters.** International Journal of Automotive Technology and Management, v. 16, n. 4, p. 361-376, 2009.

SALERNO, M. S. et al. **Modularity ten years after: an evaluation of the Brazilian experience.** International Journal of Automotive Technology and Management, v.8, n. 4, p.373-381, 2008.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

SUH, N.P. **The principles of design**. New York: Oxford University Press. 1990.

SUH, N. P. **Axiomatic Design**. New York: Oxford University Press. 2001.

TURHAN, Z. D. et al. **Supply chain reengineering in a paint company using axiomatic design**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v.57, n. 5, p. 421-435, 2011.

VANALLE, R.M.; SALLES, J.A.A. **Relação entre montadoras e fornecedores**. Gestão e Produção, v. 18, n. 2, p. 237-250, 2011.

WENG, F.T.; JENQ, S. M. **Application integrating axiomatic design and agile manufacturing unit in product evaluation**. The International Journal of Advanced Manufacturing. v. 63, n. 1-4, p. 181-189. 2012.

ZAREI, M. et al. **Food supply chain leanness using a developed QFD model**. Journal of Food Engineering, v. 101, n. 1, p. 25-33, 2011.