

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Fábio Rodrigues da Silva

**Contribuição de mock-up's digitais na análise
de manufaturabilidade de produtos
automotivos baseados no Lean Product
Development Process**

Taubaté – SP

2011

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Fábio Rodrigues da Silva

**CONTRIBUIÇÃO DE MOCK-UP'S DIGITAIS NA
ANÁLISE DE MANUFATURABILIDADE DE
PRODUTOS AUTOMOTIVOS BASEADOS NO LEAN
PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS**

Dissertação apresentada para obtenção de Título de Mestre pelo Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Projeto Mecânico

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Walter Arenas Miranda

Taubaté – SP

2011

**Ficha catalográfica elaborada pelo
SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

S586c

Silva, Fábio Rodrigues da.

Contribuição de mock-up's digitais na análise de manufaturabilidade de produtos automotivos baseados no lean product development process. / Fábio Rodrigues da Silva. – Taubaté: UNITAU, 2011.

89 f. :il;30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Gilberto Walter Arenas Miranda.

1. Manufaturabilidade. 2. Produto Automotivo. 3. Projeto Mecânico. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. II. Título.

CDD(21) 620.1

FÁBIO RODRIGUES DA SILVA

**CONTRIBUIÇÃO DE MOCK-UP'S DIGITAIS NA ANÁLISE DE
MANUFATURABILIDADE DE PRODUTOS AUTOMOTIVOS BASEADOS NO
LEAN PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS**

Dissertação apresentada para obtenção de Título de Mestre pelo Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Projeto Mecânico

Data: 25/02/2011

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gilberto Walter Arenas Miranda - Universidade de Taubaté - UNITAU

Assinatura 

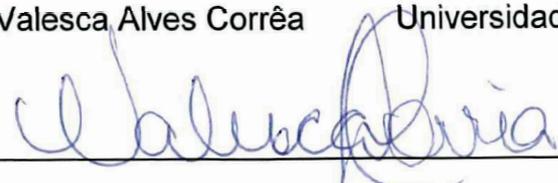
Prof. Dr. César Augusto Botura

Depto. de Ciência e Tecnologia Aeroespacial

Assinatura 

Profa. Dra. Valesca Alves Corrêa

Universidade de Taubaté - UNITAU

Assinatura 

Dedico este trabalho a minha mãe Maria Zucarato, que me educou e mostrou os caminhos da honestidade e dignidade; em memória de minha avó materna Romilda Canavezi Zucarato, que me deixa saudades da doce vida de criança; e de minha esposa Gilvanda, que me ensinou a ter garra para vencer os obstáculos da vida e crer sempre na vitória.

Ao carinho, amizade e compreensão de minhas filhas Beatriz e Maria de Lourdes, do meu pai Leonides e de meu irmão Fabrício.

AGRADECIMENTOS

Ao amigo Vladimir BOJCO, que me incentivou a iniciar este trabalho.

À PSA Peugeot Citroen Automóveis do Brasil, através dos Srs. Antoine MULLENDER e Julien SERRA, pelo apoio e disponibilização de recursos para iniciar e terminar este trabalho acadêmico.

À Sabrina OLAZ, da PSA Peugeot Citroen Argentina, patrocinadora deste trabalho, pelo envolvimento e motivação.

Ao Prof. Dr. Gilberto Walter ARENAS Miranda, meu orientador neste trabalho e em todo o curso de Mestrado, pela competência, pela paciência e pelo comprometimento com o resultado.

Ao amigo José Aurélio MARTINE, profissional de alto nível, que me auxiliou em muitos momentos para a criação deste trabalho.

À Universidade de Taubaté, a todo corpo docente e sua estrutura, pelo apoio irrestrito.

Aos meus companheiros da PSA, que acompanharam todo o trabalho.

E, por fim, aos meus colegas da UNITAU, pelas boas horas de convivência.

“Somente chega quem caminha”.

Ditado Popular

RESUMO

A competitividade do mercado automotivo global exige que as empresas automobilísticas forneçam um fluxo contínuo de novos produtos, para manter seus níveis de *market share*. A capacidade de desenvolver produtos com qualidade e inovadores no mercado, transformou-se na marca do sucesso das empresas competitivas. Os especialistas identificaram o desenvolvimento de produtos neste ambiente de alta pressão, como fundamentais para a sobrevivência organizacional. Este trabalho tem como objetivo mostrar práticas que contribuem como mecanismos de ligação entre o Processo *Lean* de Desenvolvimento de Produtos e o sistema de fabricação fundamentada no *Lean Manufacturing*. A análise será feita em uma das etapas do projeto do produto, dentro de um ambiente de Engenharia Simultânea, voltada para a manufaturabilidade, utilizando *mock-up's digitais*. Espera-se ganhos de performance do produto no chão-de-fábrica, a redução de retrabalhos no projeto do produto, e por conseqüência uma redução do *lead-time* total do programa. Será utilizada uma abordagem quantitativa, com o propósito de avaliar resultados, sobre um programa de um novo veículo, tendo como fonte de dados os diários, documentos e históricos de desenvolvimento e de soluções de problemas de manufaturabilidade, em três casos específicos. Para a análise dos dados foram utilizados números comparativos entre o tempo de desenvolvimento com a aplicação da metodologia proposta e o tempo histórico com a metodologia tradicional incluindo os tempos de correções dos problemas não identificados previamente. As análises realizadas dos dados e informações obtidas indicam que as análises de manufaturabilidade através de *mock-up's digitais*, podem contribuir com ganhos de aproximadamente 15% no *lead-time* e uma redução na ordem de 1,64M€ nos gastos totais do programa, mostrando que as análises de manufaturabilidade, aplicadas ainda na fase embrionária do desenvolvimento do produto, em uma organização fundamentada na filosofia *Lean*, contribuem eficazmente em um programa para novos veículos na indústria automobilística.

Palavras-chave: Produtos automotivos; *Lead-time*; *Mock-up Digital*; Manufaturabilidade.

ABSTRACT

The competitiveness of the global automotive market demands that car companies provide a continuous stream of new products to maintain their levels of market share. The ability to develop innovative and quality products on the market, became the hallmark of successful businesses competitive. Experts identified the development of products in this high-pressure environment as fundamental to organizational survival. This paper aims to demonstrate practices that serve as mechanisms linking the Lean Product Development Process and Manufacturing System based on Lean Manufacturing. The analysis will be done in one step from product design, within a Concurrent Engineering environment, focused on the feasibility by using digital mock-up's. It is expected gains in product performance on the factory floor, reducing rework in product design, and consequently a reduced lead-time total program. Will use a quantitative approach, in order to assess results on a program of a new vehicle, with the source data diaries, documents and historical development and feasibility solutions for problems in three specific cases. For the analysis of data were used comparative figures between the time of development with the proposed methodology and time history with the traditional methods including time correction of problems not previously identified. The analyzes of the data and information obtained indicates that the analysis of feasibility using digital mock-up's, can help with gains of around 15% for lead-time and a reduction in the order of 1.64 M€ in total expenditures of the program, showing that the analysis for feasibility, applied even at the embryonic stage of product development in an organization based on the Lean philosophy, contribute effectively in a program for new vehicles in the automotive industry.

Keywords: Automotive products; Lead time; Digital Mock-up; Feasibility.

RESUMÉ

La compétitivité du marché automobile global exige que les sociétés fournissent un flux continu de nouveaux produits, pour maintenir leurs niveaux de part de marché. La capacité de développer des produits avec qualité et des innovations dans le marché, a transformée en une marque du succès des sociétés concurrentielles. Les spécialistes ont identifié le développement de produits dans cet environnement de haute pression, comme fondamentaux pour la survie organisationnelle. Ce travail a comme objectif de montrer les pratiques qui contribuent comme des mécanismes de liaison entre le Processus Lean de Développement des Produits et le système de fabrication basée sur le Lean Manufacturing. L'analyse sera faite dans une des étapes du projet du produit, à l'intérieur d'un environnement d'Ingénierie Simultanée, en visant la faisabilité, en utilisant mock-up's numériques. Il s'attend des profits de performance du produit dans l'usine, la réduction de retravail dans le projet du produit, et par de la conséquence une réduction de lead-time total du programme. Sera utilisé un abordage quantitatif, avec l'intention d'évaluer des résultats, sur un programme d'un nouveau véhicule, en ayant la source les données journalières, documents et descriptions de développement et de solutions de problèmes de faisabilité, dans les trois cas spécifiques. Pour l'analyse des données ont été utilisés des nombres comparatifs entre le temps de développement avec l'application de la méthodologie proposé et le temps historique avec la méthodologie traditionnelle y compris les temps de corrections des problèmes non identifiés préalablement. Les analyses réalisées des données et des informations obtenues indiquent que les analyses de faisabilité par mock-up's numériques, peuvent contribuer avec des profits en environ de 15% dans lead-time et une réduction dans l'ordre de 1,64M€ dans les dépenses totales du programme, en montrant que les analyses de faisabilité, appliquées encore dans la phase embryonnaire du développement du produit, dans une organisation basée à la philosophie Lean, contribuent efficacement dans un programme des nouveaux véhicules dans l'industrie automobile.

Mots-clés: Produits automobiles; Lead-Time; Mock-up Numérique; Faisabilité.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	20
1.1	Justificativas	21
1.2	<i>Lean Product Development Process</i>	21
1.3	Objetivos.....	22
1.3.1	Objetivos específicos.....	23
1.4	Contextualização	23
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	O Processo de Desenvolvimento de Produtos	24
2.2	Engenharia Simultânea (<i>Concurrent Engineering</i>).....	25
2.3	<i>Set-Based Concurrent Engineering</i>	26
2.4	Ferramentas e Tecnologia em Desenvolvimento de Produtos	27
2.5	<i>Mock-up's Digitais</i>	34
2.6	<i>Ring Digital</i>	39
2.7	Gestão de Projetos em Desenvolvimento de Produtos.....	41
2.8	Princípios do desenvolvimento de produtos de alta performance.....	42
3.	METODOLOGIA	44
3.1	Materiais	48
3.2	Métodos	49
3.2.1	Aplicação de <i>Mock-up's Digitais</i>	49
3.2.2	Realização de <i>Ring's Digitais</i>	54
3.2.3	Relatos de passagem no <i>Set-Based Concurrent Engineering</i>	58
3.2.4	Técnica utilizada para projeção dos impactos no programa.....	59
4.	RESULTADOS.....	66
4.1	Caso da montagem da lanterna traseira (caso 1).....	66
4.2	Caso da montagem do extrator de ar (caso 2).	73
4.3	Caso da montagem da conexão elétrica do <i>break-light</i> (caso 3).	79
4.4	Restituição dos resultados.....	83
5.	DISCUSSÕES	86
6.	CONCLUSÕES.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo Tradicional de Desenvolvimento de Produto (XU, 1998) ..	28
Figura 2 – Processo típico de desenvolvimento de produtos na década de 90 (XU, 1998)	28
Figura 3 – Aumento da Capacidade Computacional na GM no USA (BOKULICH, 2003)	29
Figura 4 – Processo de Desenvolvimento de Produto através da Engenharia Simultânea com Simulação Integrada (XU, 1998)	30
Figura 5 – Processo de Desenvolvimento – Ciclo “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar” (GROTE e SHARP, 2001)	31
Figura 6 – Processo de Desenvolvimento – Ciclo “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar” (ROHDE, 2002)	32
Figura 7 – Comparação entre Cronograma Conceitual do processo Tradicional de Desenvolvimento e do processo de Engenharia Simultânea (MILBURN, 2004)	33
Figura 8 – Evolução da Informação Disponível, Facilidade para Mudanças e Custo para Mudanças de um Projeto (CAMPBELL, 1998)	36
Figura 9 – Valores Referenciais dos Níveis de Confiança do Sucesso de um Produto – Daimler Chrysler (DUBENSKY, 2001)	36
Figura 10 – Evolução da Quantidade de Problemas Solucionados e dos Custos Acumulados em Função do Processo de Desenvolvimento Utilizado (MILBURN, 2004)	37
Figura 11 – Análise da Variação do Retorno sobre o Investimento em função do Processo de Desenvolvimento empregado (MILBURN, 2004)	38
Figura 12 – Imagens de uma sessão de <i>Ring Digital</i> na PSA Peugeot Citroen, na França	39
Figura 13 – Exemplo de identificação de problema na concepção do produto na visão de montagem, estudados pelo <i>Ring Digital</i> na PSA Peugeot Citroen no Brasil	40
Figura 14 – Esquema operacional de desenvolvimento de produtos na indústria automobilística (KENNEDY, 2007)	41

Figura 15 – Os três eixos de progresso do <i>Lean Product Development Process</i> (MORGAN, 2002)	43
Figura 16 – Apresentação dos casos estudados pelo <i>Ring Digital</i> na PSA Peugeot Citroen, no Brasil	47
Figura 17 – Imagem dos softwares CATIA® v5 e VPM® em ação na PSA Peugeot Citroen, no Brasil	49
Figura 18 – Exemplo de análise de Acessibilidade estudada pelo <i>Ring Digital</i> na PSA Peugeot Citroen, no Brasil	50
Figura 19 – Exemplos de análise de Ergonomia estudada pelo <i>Ring Digital</i> na PSA Peugeot Citroen, no Brasil	51
Figura 20 – Exemplos de análises de Montabilidade estudada pelo <i>Ring Digital</i> na PSA Peugeot Citroen, no Brasil	52
Figura 21 – Exemplo de análise de <i>CLASH</i> estudada pelo <i>Ring Digital</i> na PSA Peugeot Citroen, no Brasil	53
Figura 22 – Imagem selecionada durante o <i>Ring Digital</i> no caso da montagem da lanterna traseira	66
Figura 23 – Imagem da solução final, após o último repasse de engenharia, durante o <i>Ring Digital</i> no caso da montagem da lanterna traseira ...	67
Figura 24 – Imagens selecionadas durante o <i>Ring Digital</i> no caso da montagem do extrator de ar	73
Figura 25 – Imagem da solução final, após o último repasse de engenharia, durante o <i>Ring Digital</i> no caso da montagem do extrator de ar	74
Figura 26 – Imagens selecionadas durante o <i>Ring Digital</i> no caso da conexão elétrica do break-light	79
Figura 27 – Imagens da solução final, após o último repasse de engenharia, durante o <i>Ring Digital</i> no caso da conexão elétrica do break-light ...	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fluxograma e Métodos utilizados nesta pesquisa	44
Quadro 2 – Síntese dos materiais utilizados no <i>Ring Digital</i>	48
Quadro 3 – Síntese da análise realizada pelo <i>Ring Digital</i>	54
Quadro 4 – Modelo de <i>Post-It</i> ® utilizado nas sessões de <i>Ring</i>	56
Quadro 5 – Modelo para afixação dos <i>Post-It</i> ® produto	57
Quadro 6 – Modelo para afixação dos <i>Post-It</i> ® processo	57
Quadro 7 – Síntese para decisão no <i>Set-Based Concurrent Engineering</i>	58
Quadro 8 – Fatores de correção dos tempos de solução	64
Quadro 9 – Síntese dos impactos divulgados pelo <i>Set-Based Concurrent Engineering</i>	64
Quadro 10 – Síntese da 1ª passagem em <i>Ring Digital</i> – caso « Lanterna Traseira »	68
Quadro 11 – Síntese da 2ª passagem em <i>Ring Digital</i> – caso « Lanterna Traseira »	69
Quadro 12 – Síntese da 3ª passagem em <i>Ring Digital</i> – caso « Lanterna Traseira »	70
Quadro 13 – Síntese da 1ª passagem em decisão <i>Set-Based Concurrent Engineering</i> – caso « Lanterna Traseira »	71
Quadro 14 – Síntese da 2ª passagem em decisão <i>Set-Based Concurrent Engineering</i> – caso « Lanterna Traseira »	71
Quadro 15 – Síntese da 3ª passagem em decisão <i>Set-Based Concurrent Engineering</i> – caso « Lanterna Traseira »	72
Quadro 16 – Impacto informado pelo <i>Set-Based Concurrent Engineering</i> – caso « Lanterna Traseira »	72
Quadro 17 – Síntese da 1ª passagem em <i>Ring Digital</i> – caso « Extrator de ar »	75
Quadro 18 – Síntese da 2ª passagem em <i>Ring Digital</i> – caso « Extrator de ar »	76
Quadro 19 – Síntese da 1ª passagem em decisão <i>Set-Based Concurrent Engineering</i> – caso « Extrator de ar »	77

Quadro 20 – Síntese da 1ª passagem em decisão <i>Set-Based Concurrent Engineering</i> – caso « Extrator de ar »	77
Quadro 21 – Impacto informado pelo <i>Set-Based Concurrent Engineering</i> – caso « Extrator de ar »	78
Quadro 22 – Síntese da passagem em <i>Ring Digital</i> – caso « <i>Break-light</i> »	81
Quadro 23 – Síntese da passagem em decisão <i>Set-Based Concurrent Engineering</i> – caso « <i>Break-light</i> »	82
Quadro 24 – Impacto informado pelo <i>Set-Based Concurrent Engineering</i> – caso « <i>Break-light</i> »	82
Quadro 25 – Síntese dos impactos informados pelo <i>Set-Based Concurrent Engineering</i>	83
Quadro 26 – Síntese dos resultados da pesquisa	86
Quadro 27 – Extração parcial do cronograma do Plano de Atividades da Pesquisa	87

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Primeiro modelo matemático para projeção dos ganhos no tempo total do programa – criado pelos membros do <i>SBCE</i>	60
Equação 2 – Segundo modelo matemático para projeção dos ganhos no tempo total do programa – criado pelos membros do <i>SBCE</i>	61
Equação 3 – Terceiro modelo matemático para projeção dos ganhos no tempo total do programa – criado pelos membros do <i>SBCE</i>	62
Equação 4 – Modelo matemático para projeção dos ganhos financeiros no programa, a partir dos ganhos em tempo	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

LPDP = Lean Product Development Process

LME = *Lean Manufacturing Engineering*

SBCE = *Set Based Concurrent Engineering*

ECM = *Évaluation des Conditions de Montage*

FMEA = *Failure Mode and Effects Analysis*

CAD = *Computer Aided Design*

CPQP = Custos, Prazo, Qualidade, Prestação

PDCA = *Plan, Do, Check, Act*

OK = *OKay* (é uma expressão de origem desconhecida, equivale à expressão em português "Está tudo bem !")

NOK = *Not OKay* (uma variação da expressão OK, equivalente à "Não está tudo bem !")

PI_{ip} = Projeção do impacto total no cronograma do programa (em %)

t_{sp_n} = Tempo de solução do problema no caso "n"

t_{re_n} = Tempo ganho em repasses de Engenharia no caso "n"

t_{sp1} = Tempo de solução do problema no caso 1

t_{re1} = Tempo ganho em repasses de Engenharia no caso 1

f_{cr1} = Fator de criticidade do problema no caso 1

f_{fq1} = Fator de frequência de aparição do problema no caso 1

t_{sp2} = Tempo de solução do problema no caso 2

t_{re2} = Tempo ganho em repasses de Engenharia no caso 2

f_{cr2} = Fator de criticidade do problema no caso 2

f_{fq2} = Fator de frequência de aparição do problema no caso 2

t_{sp3} = Tempo de solução do problema no caso 3

f_{cr3} = Fator de criticidade do problema no caso 3

f_{fq3} = Fator de frequência de aparição do problema no caso 3

t_{sp64} = Tempo de solução do problema no caso 64

t_{re64} = Tempo ganho em repasses de Engenharia no caso 64

g_{re1} = % de ganho em repasse de engenharia do problema no caso 1

g_{re2} = % de ganho em repasse de engenharia do problema no caso 2

- g_{re3} = % de ganho em repasse de engenharia do problema no caso 3
- Q_{pip} = Quantidade de peças impactadas pelo programa
- TT_p = Tempo total de desenvolvimento do programa – « time to market »
- PI_{fp} = Projeção do impacto financeiro no programa (em €)
- TX_{std} = Taxa Standard do custo-homem (em €/mês)
- Q_{hep} = Quantidade de homens envolvidos no programa

UNIDADES DE MEDIDAS

tempo = meses

monetário = Euros (€)

quantidade = unidades simples

1. INTRODUÇÃO

A capacidade de agregar qualidade a produtos inovadores para um mercado que rapidamente se modifica, tornou-se um marco de sucesso para as empresas. Este fenômeno é mais evidente na indústria automobilística, onde a competitividade atual exige que as empresas automobilísticas forneçam um fluxo contínuo de lançamento de produtos, para manter seus níveis de *market share* e no contra-ataque de concorrências de toda parte do mundo.

Ao avaliar o desempenho de desenvolvimento de produto, é extremamente importante partir de uma perspectiva competitiva. A Toyota produz de forma consistente produtos de altíssima qualidade para o mercado mais rápido do que quase toda a concorrência, e seu sistema de desenvolvimento produz alguns dos veículos mais eficientes fabricados no planeta.

Os relatórios Harbour (2007 e 2008) apresentam as taxas da Toyota, em estamparia e linhas de montagem, não só como a que produz com mais alta qualidade, mas com a eficiência na produção também. Tem um dos mais eficientes sistemas de produção do mundo conhecido como Manufatura Enxuta (**LEAN MANUFACTURING**), este sistema tem sido descrito por vários acadêmicos e escritores. É sem dúvida o mais bem sucedido e o sistema de produção mais copiado nos últimos anos. Começando com “A Máquina que Mudou o Mundo” (WOMACK, JONES e ROOS, 1990), que resultou de um estudo de cinco anos no MIT, através de trabalhos mais recentes como “Becoming Lean” (LIKER, 1997). A “Mentalidade Enxuta” (WOMACK e JONES, 1996), mostra como a manufatura enxuta tem sido reconhecida como uma poderosa vantagem competitiva para Toyota.

A Toyota é na atualidade um líder no desenvolvimento de produtos automotivos (CHAPPELL, 2002 ; CLARK e FUJIMOTO, 1991 ; CUSUMANO e NOBEOKA, 1998 ; LIKER, 1995 ; SOBEK, LIKER e WARD, 1998 ; WHEELWRIGHT e CLARK, 1992), principalmente em carry-over de plataformas, e seu processo de desenvolvimento de produto (**LEAN PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS**) supera as expectativas na qualidade do produto, na velocidade para o mercado, e o projeto de produtos apoia-se em um processo de fabricação extremamente eficiente.

1.1 Justificativas

Alterações de carroceria representam o tipo mais comum de evolução de produto aplicados por empresas automobilísticas. Enquanto os projetos de *powertrain* (motor e parte da suspensão) e *chassis* (parte inferior da carroceria e parte da suspensão) permanecem relativamente estáveis, normalmente incorporando apenas pequenas alterações na maioria dos novos modelos, a carroceria do veículo quase sempre passa por mudanças significativas. É onde se encontra o estilo ou a essência do veículo e, conseqüentemente, grande parte da sua identidade pública.

No entanto, as alterações de carroceria são um desafio de desenvolvimento para todas as montadoras. Clark e Fujimoto (1991) e Hammett, Wahl e Baron (1999) identificam o desenvolvimento da carroceria como o principal gargalo e caminho crítico no desenvolvimento de veículos.

A maioria das companhias norte-americanas ainda requer tempo superior a dois anos de desenvolvimento para trazer uma mudança importante de estilo, com custos associados a essa alteração de um terço à metade do custo total de trazer um carro completamente novo para o mercado (CLARK e FUJIMOTO, 1991).

A carroceria de um veículo representa um sistema altamente complexo, que possui interfaces críticas com quase todos os outros subsistemas do veículo. Há pouco que pode ser alterado na carroceria do veículo sem afetar alguma outra parte do veículo. Uma mudança de carroceria pode conter mais de 300 peças cada um dos quais deve ser desenvolvido, testado, pilotado e lançado. O lançamento de um projeto de carroceria tem impactos diretos e importantes na segurança e qualidade percebida pelos consumidores.

1.2 *Lean Product Development Process*

O *Lean Product Development Process (LPDP)* é um conjunto de métodos e ferramentas, que formam um modelo de alta performance em desenvolvimento de produtos, aplicado principalmente pela Toyota e estudados em diversas missões ocidentais. Os fundamentos e princípios do *LPDP* são :

- ✓ A abordagem holística (pessoas, processos e tecnologia) que são totalmente integrados, alinhados e projetados para serem solidários;
- ✓ Profissionais altamente qualificados e inteligentes é o coração do sistema de desenvolvimento de produto.
- ✓ Redução de desperdícios a fim de maximizar a capacidade das pessoas.
- ✓ A tecnologia deve ser feita sob medida, com soluções focadas e selecionadas para melhorar o desempenho das pessoas e do processo.
- ✓ A visão do cliente embutida na abordagem ao desenvolvimento de produtos.
- ✓ O rigor de engenharia, na resolução de problemas e decisões no projeto realizado de forma consensual.
- ✓ A aprendizagem contínua, que na Toyota (chamado *Hansei* ou reflexão) tem incentivos aos engenheiros para validar e atualizar seus próprios conhecimentos em um banco de dados.
- ✓ Sincronizar processos para execução simultânea, chamado de engenharia simultânea.
- ✓ Um rigoroso programa de padronização, para criar estratégias de recondução de arquitetura e processos de fabricação compartilhados, com resultados previsíveis de qualidade e tempo de execução.
- ✓ Aplicação do "*Gentchi Gembutsu*", que consiste em um programa aplicado pela Toyota, que doutrina os engenheiros a "sempre" verificar *in-loco* onde estão os problemas. É praticado em chão-de-fábrica, em concessionárias, trabalhando em análise de concorrência ou com peças protótipos.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo demonstrar a eficácia das análises de manufaturabilidade através de *mock-up's digitais* (TECNOLOGIA que permite a visualização e validação em imagens virtuais em 3D de componentes, subsistemas ou sistemas no veículo), na concepção do produto na indústria automobilística, com a estrutura *LPDP* implementado, como também as práticas que contribuem como mecanismos de ligação entre o *LPDP* (PESSOAS) e o sistema de fabricação fundamentada no *Lean Manufacturing* (PROCESSOS).

1.3.1 Objetivos específicos

Neste contexto, para validar o objetivo geral é necessário atingir objetivos específicos que são:

- ✓ Demonstrar o funcionamento das análises de manufaturabilidade e as validações através do RING DIGITAL (fase de validação do produto e processo, pelos interlocutores ao redor de um meio digital ou físico) e sua contribuição para um melhor desempenho do produto no chão-de-fábrica, de forma preventiva;
- ✓ Apresentar resultados na redução do lead-time de desenvolvimento do produto, através da minimização de repasses de engenharia (ação preventiva);
- ✓ Redução dos custos totais no processo de desenvolvimento de produtos automotivos, como resultante de todas as ações preventivas.

1.4 Contextualização

No capítulo 1 apresenta-se uma introdução do assunto, a justificativa, os objetivos gerais e específicos, um breve entendimento dos fundamentos do *Lean Product Development Process (LPDP)*, bem como a estrutura da Dissertação.

No capítulo 2 é feita uma revisão sobre os conceitos fundamentais do *LPDP*, como citações sobre o processo de desenvolvimento de produtos; a Engenharia Simultânea, incluindo o “*Set-Based Concurrent Engineering*” (união de todos os Engenheiros responsáveis pelo desenvolvimento do programa em questão, reunidos periodicamente para abordar os problemas de “interface” do projeto) e aplicações de ferramentas e tecnologias - que é o foco desta pesquisa.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia científica aplicada a este trabalho, os métodos e materiais utilizados.

No capítulo 4 é demonstrado a aplicação dos conceitos propostos e os resultados alcançados em 3 casos previamente escolhidos, dentro do programa estudado.

No capítulo 5 é realizada uma discussão sobre os objetivos alcançados.

No capítulo 6 é apresentado as conclusões sobre a aplicação da prática proposta, em programas de desenvolvimento de novos veículos na indústria automobilística, bem como proposições de estudos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Existem diversos artigos e *papers* a respeito do desenvolvimento de produtos, e nesta revisão será feita uma tentativa de fornecer uma compreensão fundamental do *LEAN PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS*, como citações sobre o processo de desenvolvimento de produtos; a Engenharia Simultânea, incluindo o “*Set-Based Concurrent Engineering*” e aplicações de ferramentas e tecnologias - que é o foco desta pesquisa.

2.1 O Processo de Desenvolvimento de Produtos

O projeto e desenvolvimento do produto devem estar em linha com os objetivos estratégicos da empresa, assim podemos entender o processo de desenvolvimento de produtos como um conjunto de atividades que envolvem quase todos os departamentos da empresa e que tem por objetivo a transformação de necessidades de mercado em produtos ou serviços economicamente viáveis.

Os ambientes sob pressão em que essas empresas operam as tornaram altamente competitivas, exatamente para manter o contato com as demandas e do temor de não ficar para trás, fundamentais para a sobrevivência organizacional.

Segundo Wheelwright e Clark (1992), existem três forças fundamentais que criaram estes ambientes:

- ✓ A intensa concorrência internacional, que cria uma enorme pressão para desenvolver veículos de maior qualidade, mais rápido e mais barato;
- ✓ Os mercados cada vez mais fragmentados, com demanda mais restrita de produtos para nichos cada vez menores;
- ✓ A rápida mudança tecnológica que aumenta o leque de opções disponíveis de desenvolvimentos, criando uma maior complexidade e maior pressão para manter-se.

Ainda segundo Wheelwright e Clark (1992) existem três pontos "imperativos no desenvolvimento" de produto para as indústrias automobilísticas:

- ✓ A qualidade-veículo, qualidade inclui confiabilidade, funcionalidade e satisfação do cliente;
- ✓ O custo ou a eficiência, os autores atribuem o custo do veículo como os custos no desenvolvimento do produto;
- ✓ O tempo que leva a Engenharia para passar do conceito para o mercado.

Autores como Clark e Fujimoto (1991) e Smith e Reinertsen (1998) têm utilizado esses mesmos "imperativos" como medidas de desempenho do processo de desenvolvimento de produtos e a maioria concorda que o produto de sucesso deve ser excelente em todas as três categorias.

2.2 Engenharia Simultânea (*Concurrent Engineering*)

Como base da literatura de desenvolvimento de produtos, a Engenharia Simultânea é uma exigência para qualquer organização bem sucedida em desenvolvimento de produtos (CLARK e FUJIMOTO, 1991 ; CUSAMANO e NOBEOKA, 1998 ; FLEISCHER e LIKER, 1997 ; WHEELWRIGHT e CLARK, 1992), é basicamente a prática de sobreposição das atividades funcionais de vários departamentos, necessários para o desenvolvimento de um novo produto.

A maioria das definições da Engenharia Simultânea inclui como uma característica importante o envolvimento da Engenharia de Manufatura desde o início do desenvolvimento de produtos, e que uma estratégia "funcional cruzada" e com atividades simultâneas potencializam a rapidez de realização das atividades, e que as organizações mais bem sucedidas praticam alguma forma de Engenharia Simultânea (NEVINS e WHITNEY, 1989).

A Toyota, em diversas citações é nomeada como líder em desenvolvimento de produtos automotivos, e uma praticante dos princípios da Engenharia Simultânea (WARD *et al.*, 1995b) e outros autores apontaram também a sua prática de Engenharia Simultânea como fonte de seu sucesso (CLARK e FUJIMOTO, 1991).

No entanto, há grandes dificuldades associadas à gestão eficaz da Engenharia Simultânea (FLEISCHER e LIKER, 1997), como a falta de coordenação das atividades simultâneas resultando em "incoerências" entre o projeto do produto e o

projeto futuro de manufatura apoiado nos princípios do *LEAN MANUFACTURING ENGINEERING (LME)*, com posteriores retrabalhos e onerando a organização, e que esta coordenação produto-processo é o sucesso da aplicação do *LEAN PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS (LPDP)*.

A integração dos diversos grupos de especialistas técnicos e a coordenação das suas atividades tornam-se então uma grande preocupação para as organizações que praticam a Engenharia Simultânea, e uma das ferramentas de base desta prática é a tecnologia computacional, porém insuficiente para a integração de atividades interdisciplinares.

A tecnologia da informação aumentou a velocidade e a disponibilidade de comunicação, a modelagem sólida em CAD e as redes de computadores interligados impulsionaram e revolucionaram a capacidade da Engenharia Simultânea (BALDWIN e CLARK, 2000 ; HADDAD, 1996).

Embora a Engenharia Simultânea seja realizado por meio de atividades seqüenciais e simultâneas, há também a questão das abordagens de interface entre os departamentos, e uma instância para tomada de decisão interdisciplinar é obrigatório. Um desses métodos é conhecido como *Set-Based Concurrent Engineering* (WARD e SEERING, 1989).

2.3 *Set-Based Concurrent Engineering*

Set-Based Concurrent Engineering é definido como uma instância independente e interdisciplinar, formado pela união de todos os Engenheiros responsáveis pelo desenvolvimento do programa em questão, reunidos periodicamente para abordar os problemas de "interface" do projeto, explorar idéias diferentes, e exercitar que todos pensem e raciocinem juntos sobre as alternativas e soluções a aplicar, e a divulgação de aprovações colegiadas (WARD *et al.*, 1995a).

A pesquisa indica que esta prática "convergente" é utilizada pela Toyota e que é o coração do projeto do veículo e a alavanca do programa de Engenharia Simultânea.

Esta prática é citada por autores como Pugh (1996), Ulrich e Eppinger (1995), que também recomendam uma "convergência controlada" para selecionar a melhor solução, que não é muito diferente do método descrito por Ward (1989).

2.4 Ferramentas e Tecnologia em Desenvolvimento de Produtos

Segundo Morgan (2002), a filosofia tradicional de se projetar um novo veículo através do ciclo de tentativa e erro, baseado fundamentalmente na construção e teste de protótipos físicos, está sendo abandonada. Temos agora um ciclo baseado na definição dos requisitos do produto, em linha com as expectativas do mercado consumidor e as exigências da legislação.

A validação final do veículo deve ser no menor prazo possível, e o ciclo completo de desenvolvimento de um novo veículo (*time to market*) tem sido drasticamente reduzido em termos de tempo e custo, com a utilização de protótipos físicos reduzidos principalmente pelo corte no número de veículos produzidos ao longo de um programa.

Milburn (2004) identifica a Engenharia Digital como o novo paradigma a ser quebrado. De acordo com sua análise este paradigma é composto por toda a mudança comportamental e cultural envolvida na transição efetiva do desenvolvimento baseado em protótipos e testes físicos para a simulação, otimização e validação virtual.

O projeto e desenvolvimento devem estar em linha com os objetivos estratégicos da empresa, assim podemos entender o processo de desenvolvimento de produtos como um conjunto de atividades que envolvem quase todos os departamentos da empresa e que tem por objetivo a transformação de necessidades de mercado em produtos ou serviços economicamente viáveis. Um ponto importante notado se refere às revisões gerais do projeto. Esta metodologia passou a ser utilizada de forma sistemática e disciplinada há cerca de cinco anos.

A simulação não é apenas uma tendência, sua implementação e utilização no desenvolvimento de um novo produto é uma necessidade e contribui de maneira significativa para a otimização deste processo. Com o aumento na complexidade e a redução no tempo e custo de um ciclo de desenvolvimento, a fabricação e teste de protótipos físicos, em função do tempo e custo envolvidos nestas atividades, passam a representar o caminho crítico no processo de desenvolvimento.

Historicamente a utilização de protótipos e testes físicos tem sido uma atividade necessária e obrigatória para o desenvolvimento e validação de um novo veículo desde o início da indústria automobilística. Este processo de desenvolvimento

baseado predominantemente em protótipos e testes físicos ilustrado esquematicamente na Figura 1, e representando um ciclo de “Projeto – Teste” ou Tentativa e Erro, pode ser considerado como o processo tradicionalmente utilizado pelas empresas do setor automobilístico até meados da década de oitenta.

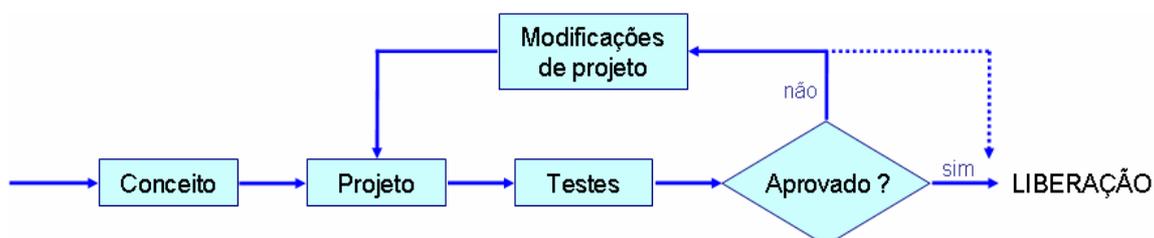


Figura 1 – Processo Tradicional de Desenvolvimento de Produto (XU, 1998).

Pela necessidade de se reduzir tempo e custo do ciclo de desenvolvimento de um produto e dos constantes avanços tecnológicos ocorridos principalmente a partir do final da década de oitenta, a simulação passou a ser um meio através do qual o processo de desenvolvimento poderia ser drasticamente alterado e reduzido em termos de tempo e custo. As primeiras utilizações da simulação no processo de desenvolvimento a partir do início da década de noventa, refletiam o desenvolvimento de componentes individuais e focavam basicamente estudos relacionados a análise estrutural através do Método dos Elementos Finitos.

A simulação até o final da década de noventa apresentava-se normalmente como uma ferramenta de auxílio ao processo tradicional de desenvolvimento, empregada como método de correção de algum problema detectado durante um teste físico convencional, normalmente aplicado a componentes isolados e na grande maioria dos casos voltada a estudos relacionados à resistência estrutural do componente.

Um fluxo simplificado deste processo está apresentado na Figura 2.

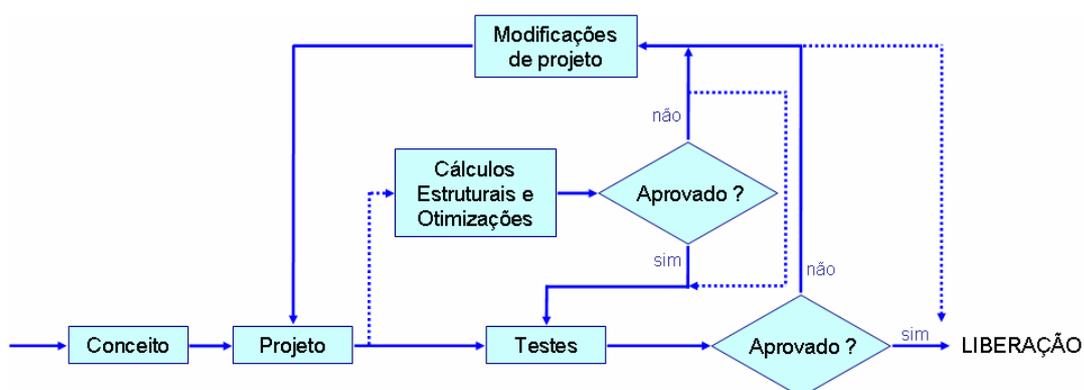


Figura 2 - Processo típico de desenvolvimento de produtos na década de 90 (XU, 1998)

Apesar de não ser citado por Xu (1998), presupõem-se que as linhas tracejadas que aparecem nas Figuras 1 e 2, é a representação de decisões tomadas pela alta direção, na forma de desvio do processo normal de desenvolvimento.

A simulação durante este período era uma ferramenta de suporte na solução de problemas encontrados durante a realização de testes físicos, não era apresentada como uma etapa mandatória a ser cumprida durante o processo de desenvolvimento e validação. Neste período, a base para o processo, tanto para atividades relacionadas a desenvolvimento quanto validação, ainda era protótipos e testes físicos que representavam elevados custos e longos períodos para serem construídos e realizados.

Com relação aos demais fatores limitantes, a partir do final da década de noventa, a indústria automobilística mundial passou a viver uma nova revolução no processo de desenvolvimento de novos veículos. Como alicerces desta revolução, segundo Fischler (2005), temos:

- ✓ O grande avanço na capacidade computacional, como fator Facilitador.
- ✓ As mudanças no mercado quanto às exigências do consumidor e a concorrência acirrada entre as montadoras, como fator Motivador.
- ✓ A evolução tecnológica, que a cada dia tem-se maior capacidade computacional, adquirida a uma fração do que se investia no passado.

Como pode ser observado na Figura 3, comparando-se com o recurso disponível atualmente, verifica-se que a capacidade computacional em meados da década de noventa era praticamente inexistente.

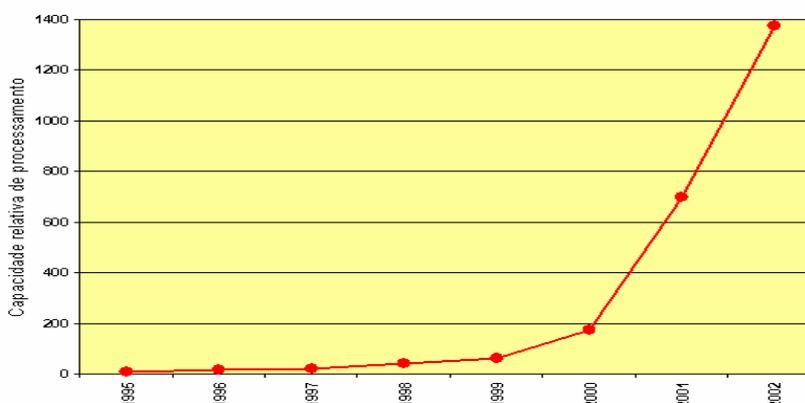


Figura 3 – Aumento da Capacidade Computacional na GM no USA (BOKULICH, 2003).

Estas revoluções tecnológicas fazem com que as indústrias automobilísticas deixem de ser a fonte geradora de mudanças, passando a reagir às novas condições impostas pelo mercado e pelo ambiente.

Neste novo cenário, mudanças radicais puderam ser implementadas no processo de desenvolvimento. O custo-benefício da introdução desta nova tecnologia baseada em métodos computacionais conduziu a um uso mais extensivo de análise e simulação, auxiliando de forma decisiva na aceleração dos ciclos de desenvolvimento. Isto está propiciando a introdução de Campos de Provas Virtuais, criando assim o meio através do quais as indústrias possam atingir os novos objetivos e expectativas do mercado.

Nesta nova realidade, a simulação passa a representar um papel extremamente relevante no processo. A diferença fundamental em relação ao que se praticava em períodos anteriores refere-se à utilização obrigatória da simulação em todas as fases do ciclo, suportando o desenvolvimento e pré-validação virtual do produto, ilustrado na Figura 4.

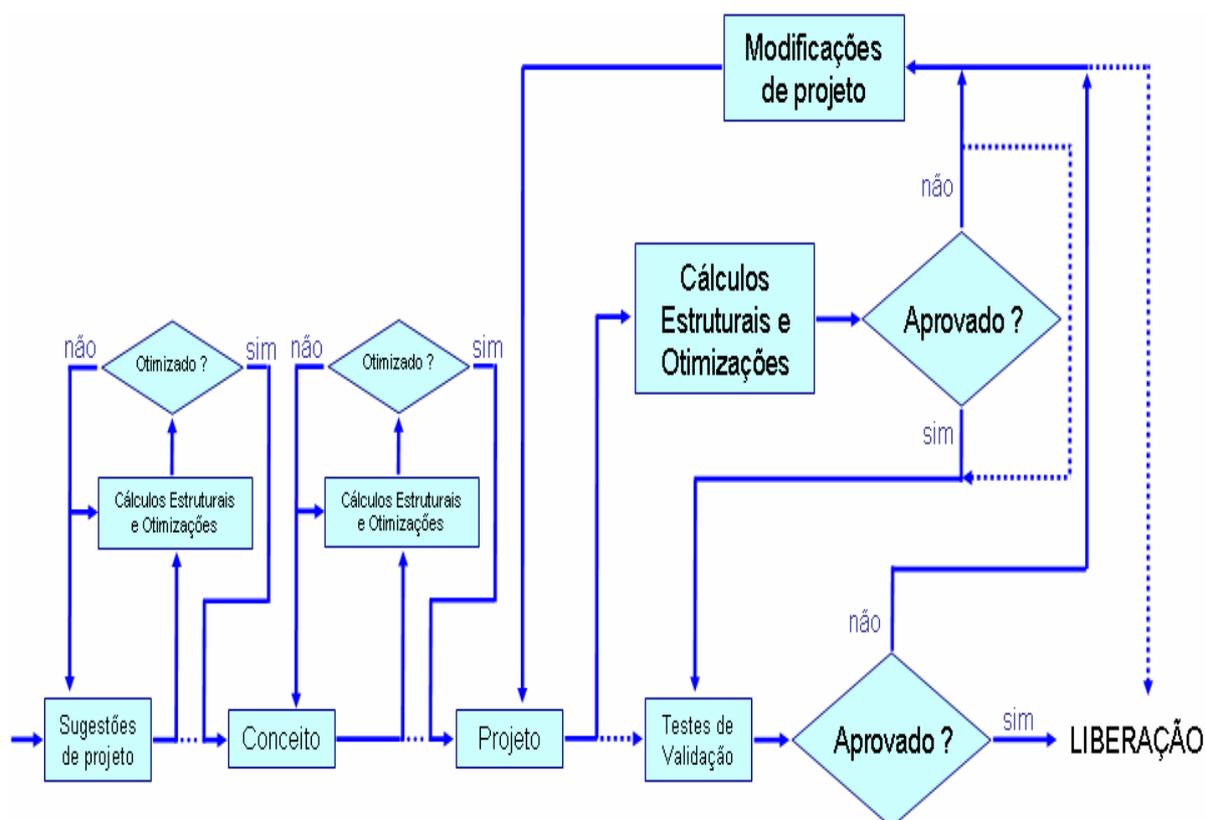


Figura 4 – Processo de Desenvolvimento de Produto através da Engenharia Simultânea com Simulação Integrada (XU, 1998).

Como vantagens em se aplicar a análise e simulação desde as fases iniciais do projeto, temos um aprimoramento do projeto ainda na fase conceitual, e uma otimização deste durante todo o desenvolvimento. Isto pode ser visualizado nos modelos de processo de desenvolvimento apresentados por outros autores pesquisados ilustrados nas Figuras 5 e 6.

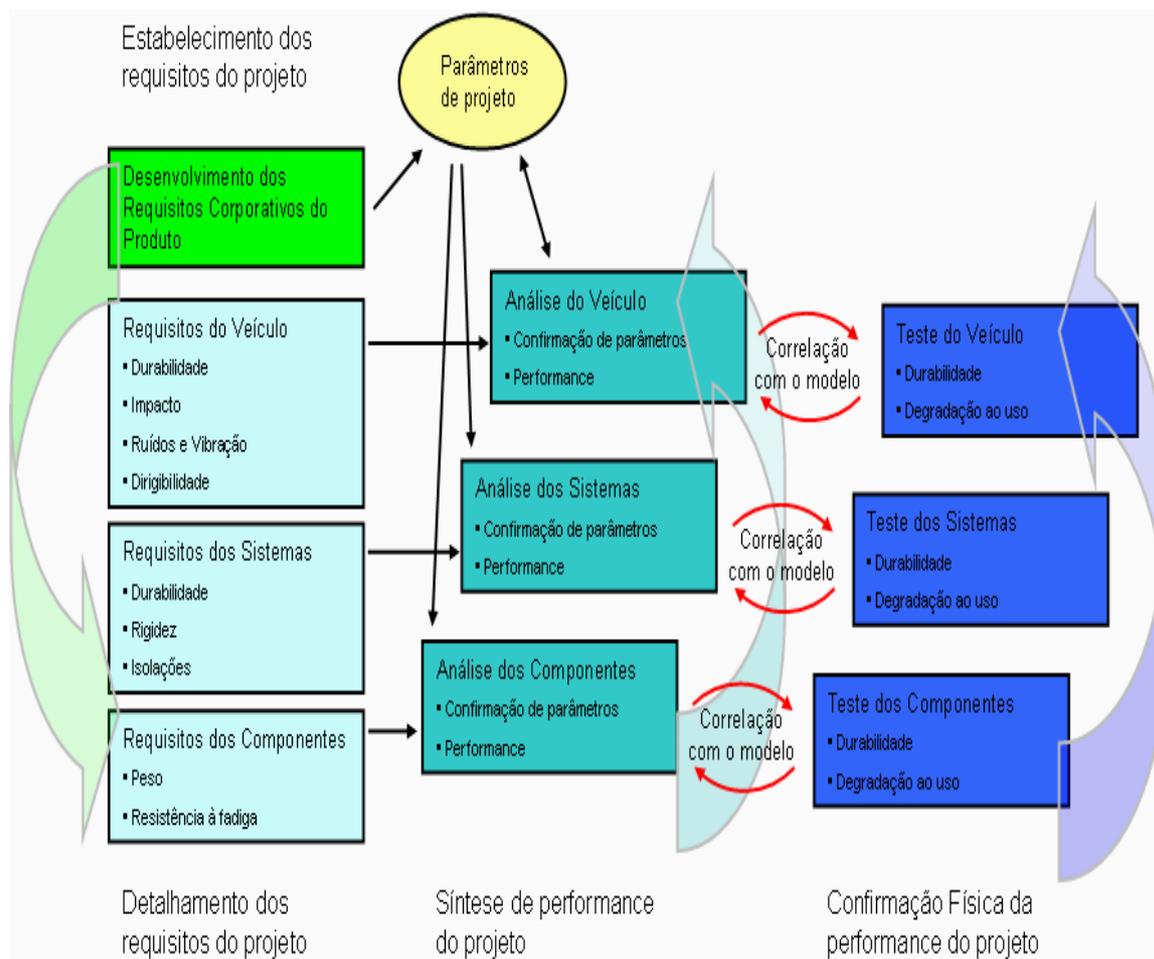


Figura 5 – Processo de Desenvolvimento – Ciclo “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar” (GROTE e SHARP, 2001).

Zwaannenbunrg (2002) relata que no início da utilização da simulação no ciclo de desenvolvimento, ninguém acreditava nos resultados dos testes, exceto os engenheiros de teste e ninguém acreditava nos resultados das análises, exceto os analistas, e observando este novo cenário podemos concluir que o desenvolvimento de novos programas que permitiram a visualização do componente ou do veículo sendo virtualmente testado e a apresentação dos resultados de forma também visual auxiliou muito na aceitação destes novos métodos por parte dos profissionais envolvidos no desenvolvimento do produto.

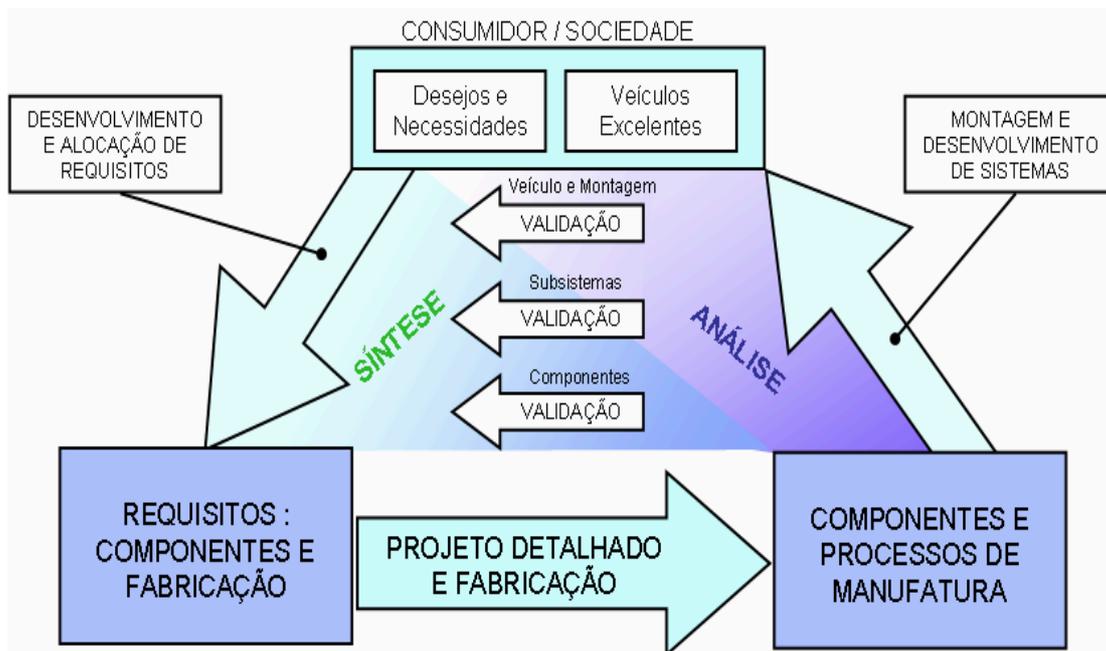


Figura 6 – Processo de Desenvolvimento – Ciclo “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar” (ROHDE, 2002).

Segundo Fischler (2005), é recomendada a introdução da simulação como etapa obrigatória no processo com utilização do ciclo “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar” e com implementação do conceito de Engenharia Simultânea. Tem-se desta forma o objetivo de garantir que o máximo de informações relevantes seja incorporado ao processo inicial de criação do novo produto, evitando-se mudanças drásticas e onerosas em fases posteriores do desenvolvimento.

Podemos assim concluir que, além das reduções em termos de tempo e investimento de desenvolvimento, outra significativa contribuição da simulação e prototipagem virtual é oriunda da possibilidade de se adquirir conhecimento do produto ainda em sua fase embrionária. A análise de alternativas, a otimização e a redução de interações ou fases de Projeto-Construção-Teste representam um fator primordial para a redução de tempo e custo no ciclo de desenvolvimento de produto.

A simulação, deste modo, torna-se responsável pela otimização do produto em cada fase do processo, resultando em um produto que atenda aos requisitos de utilização, mas que não seja super-dimensionado. Temos a validação do produto antes da construção do primeiro protótipo funcional, e os testes físicos passam a ser uma etapa somente de validação final.

Projetos baseados em simulação permitem aos projetistas, engenheiros e analistas acessarem mais rapidamente informações importantes de um novo produto

ainda na fase de conceituação, não sendo necessário esperar meses para construção, instrumentação e testes em protótipos físicos para obter as primeiras informações que irão conduzir a alterações e otimizações do produto. Pode-se ainda, em questão de semanas, estudar inúmeras alternativas, modificações e variações em diversos testes, a uma fração do tempo e custos necessários aos processos baseados em protótipos físicos, como ilustrado na Figura 7.

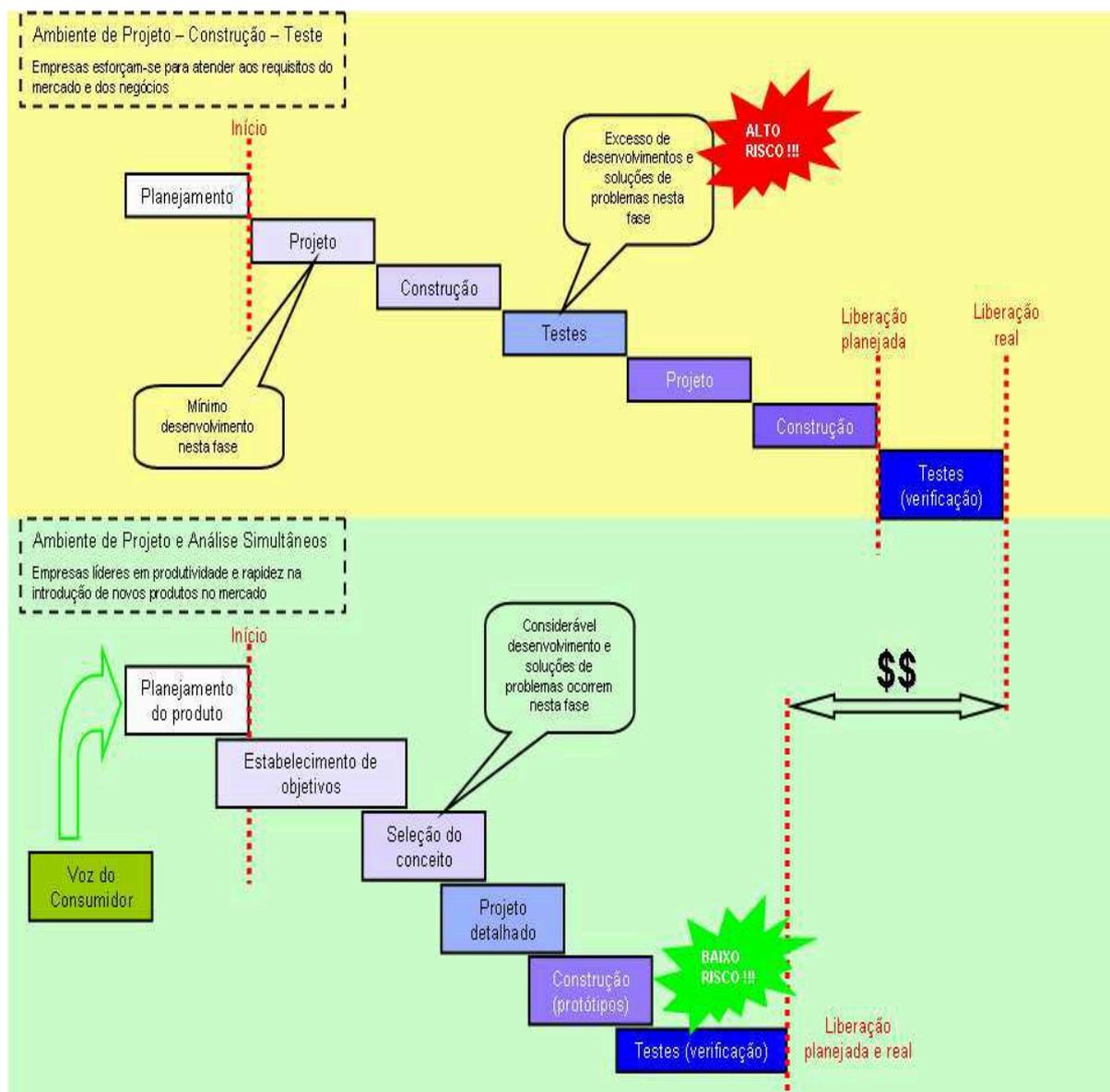


Figura 7 – Comparação entre Cronograma Conceitual do processo Tradicional de Desenvolvimento e do processo de Engenharia Simultânea (MILBURN, 2004).

2.5 *Mock-up's Digitais*

Através do *Mock-up Digital* tornou-se possível a visualização em três dimensões dos componentes sólidos. Esta tecnologia permite a análise de instalação do componente, subsistema ou sistema no veículo, bem como a análise de interferências entre componentes. Isto assegura que todas as partes irão apresentar condições de montagem e o produto estará de acordo com o especificado.

Assim, estas representações tridimensionais permitem a construção e avaliação virtual de veículos completos, sem a necessidade de se fabricar um componente físico sequer (FISCHLER, 2005).

Em linha com esta abordagem, classificam-se os *mock-up's digitais* em cinco classes, de acordo com a utilização (ZORRIASSATINE *et al.*, 2003):

- ✓ Modelos para Visualização: usados para avaliação de forma e aparência.
- ✓ Montagem e Interferência: verificação de montagem de peças, subsistemas, sistemas e produto completo.
- ✓ Teste e Verificação de Funcionamento e Desempenho: protótipos virtuais usados para avaliação de aspectos estruturais, tais como durabilidade, fadiga, vibração, acústica, comportamento aerodinâmico, estudos relacionados à circulação e fluxo de ar nos diversos compartimentos, comportamento térmico, comportamentos cinemáticos, velocidade, aceleração, rotação e dinâmica, avaliação de suspensão, freios, entre outros.
- ✓ Manufaturabilidade: para prever e simular o processo de geração do novo produto, analisando-se desde os aspectos relacionados à fabricação dos componentes, como processos de estampo, forja, injeção, usinagem; até a seqüência final de montagem.
- ✓ Análise do Fator Humano: modelos humanos desenvolvidos para suportar a avaliação de aspectos ergonômicos, tanto no processo de fabricação e montagem, quanto na interação com o produto; análises de sistemas segurança, colisão, cinto de segurança, sistemas de proteção, visibilidade, entre outros.

A crescente evolução e acessibilidade às novas tecnologias relacionadas à realidade virtual tornam mais palpáveis os desenvolvimentos virtuais, auxiliando na ruptura do paradigma da Engenharia Virtual. Através da realidade virtual passa a ser

possível a interação entre o homem e o produto virtual, além de facilitar a descentralização e globalização de atividades, tornando este processo mais ágil e eficiente.

Juntamente com todas estas mudanças impostas pela simulação no processo de desenvolvimento de um novo produto, temos dois pontos que passam a merecer especial atenção:

- ✓ O primeiro refere-se ao Custo da Certeza, uma vez que a simulação altera de maneira significativa a quantidade e a qualidade de informações relativas ao novo produto em fases iniciais do processo.
- ✓ O segundo refere-se ao papel a ser desempenhado pelo engenheiro de produto neste ciclo.

As atividades relacionadas ao projeto e desenvolvimento de um novo produto são baseadas em informação, e à medida que um novo veículo é projetado, grandes quantidades de informações e dados são requeridas, interpretadas, analisadas e transformadas. A consistência, precisão e disponibilidade destas informações é um fator essencial e pode determinar se este novo produto irá atingir os requisitos necessários, bem como seu sucesso ou fracasso no mercado.

Os avanços tecnológicos relacionados às técnicas de prototipagem rápida e mais recentemente a simulação e ferramentas virtuais estão permitindo uma melhoria no conhecimento avançado e o aumento na confiança de sucesso do novo produto.

Kaminski (2000) define o custo destas atividades destinadas à obtenção de conhecimento sobre o projeto como « Custo da Certeza », este custo deve corresponder proporcionalmente ao aumento da certeza quanto ao sucesso do novo produto, e que um projeto deve ser interrompido caso as informações disponíveis indiquem o fracasso.

Para qualquer projeto, quanto maior o nível de segurança e certeza que desejarmos nas fases iniciais, maiores serão os gastos para obtê-los uma vez que o nível de conhecimento para estas fases iniciais é bastante baixo. Em um projeto inovador sem referência prévia, o nível inicial de confiança pode ser próximo à zero. Em um projeto evolutivo e, portanto, sem grandes incógnitas, o nível de confiança inicial pode ser muito alto, até mesmo dentro do aceitável já em etapas iniciais do desenvolvimento. Na Figura 8, temos um gráfico da variação dos níveis de

conhecimento do produto, facilidade para mudanças e custos para efetuar estas mudanças ao longo do ciclo de projeto. Produtos de alta qualidade e baixo custo são fatores decisivos para uma empresa alcançar índices elevados de satisfação dos clientes e elevar sua participação no mercado.

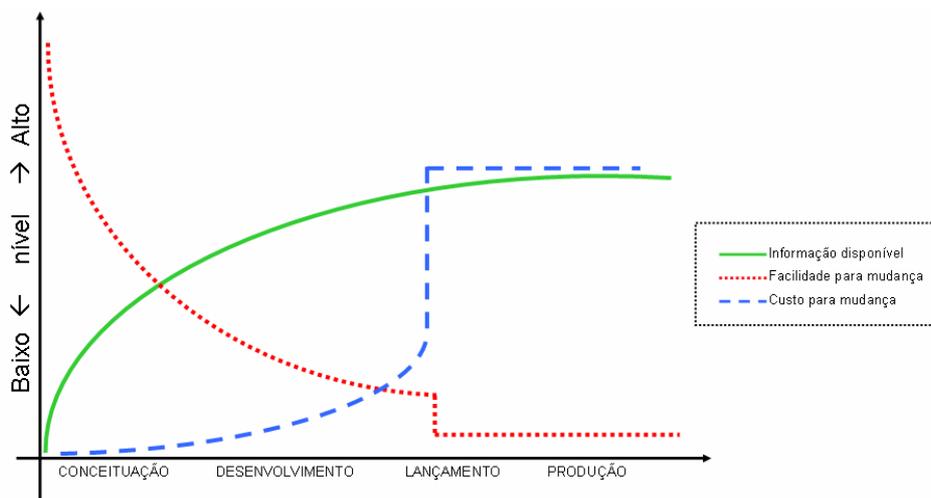


Figura 8 – Evolução da Informação Disponível, Facilidade para Mudanças e Custo para Mudanças ao longo de um Projeto (CAMPBELL, 1998).

Deste modo, fica claro a importância de ter o nível de conhecimento e informações disponíveis do novo produto o mais rápido possível de modo a permitir uma otimização do projeto e um aumento na certeza do produto, obtidos com menores custos e com a redução do ciclo de desenvolvimento. Verifica-se na Figura 9 alguns valores para estes níveis aceitáveis de confiança do sucesso de um novo produto ao longo das fases do projeto.

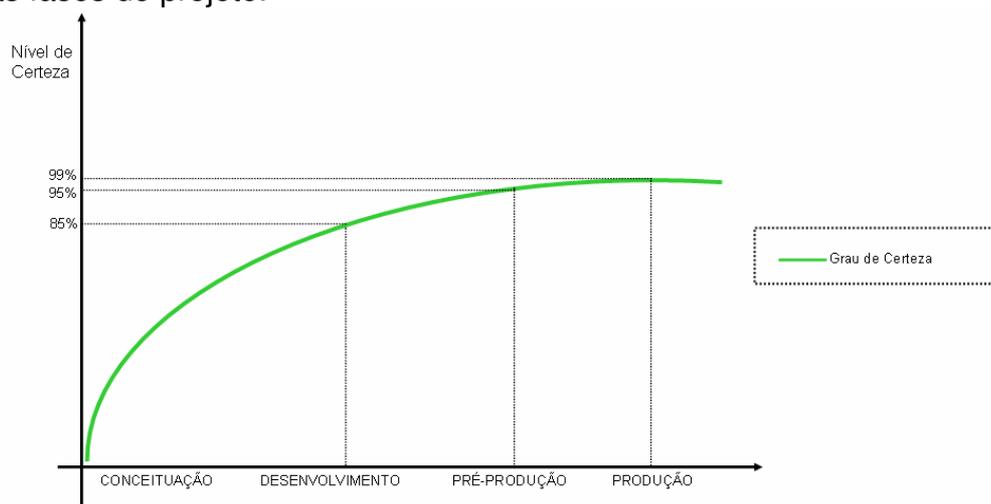


Figura 9 – Valores Referenciais dos Níveis de Confiança do Sucesso de um Produto ao longo do Projeto – Daimler Chrysler (DUBENSKY, 2001).

Decisões errôneas tomadas na fase inicial, causadas pela inexistência de informação e conhecimento, representavam grandes gastos para correção em fases avançadas do projeto, ou até o fracasso completo do novo produto.

Com a utilização dos recursos tecnológicos disponíveis, os grupos responsáveis pelo projeto podem atualmente, em questão de semanas, construir protótipos virtuais, exercitar inúmeras alternativas em diversas condições a uma fração do tempo e custo necessários ao processo tradicional. Isto proporciona um ganho imenso em termos de confiança, maturidade e sucesso do novo veículo ainda em fases embrionárias, contribuindo de forma decisiva para a redução de problemas e gastos desnecessários com a sua correção em fases avançadas do projeto.

Na Figura 10 podemos identificar uma mudança significativa na qualidade e na quantidade de informações disponíveis, bem como a maior maturidade do projeto em fases iniciais do desenvolvimento à medida que migramos dos métodos tradicionais de projeto, baseados no ciclo de “Tentativa e Erro” com grande utilização de protótipos físicos, para a utilização da Engenharia Simultânea integrada à utilização de simulação, representada pela quantidade de problemas identificados e resolvidos na fase de conceituação e dos custos acumulados envolvidos na solução dos problemas encontrados.

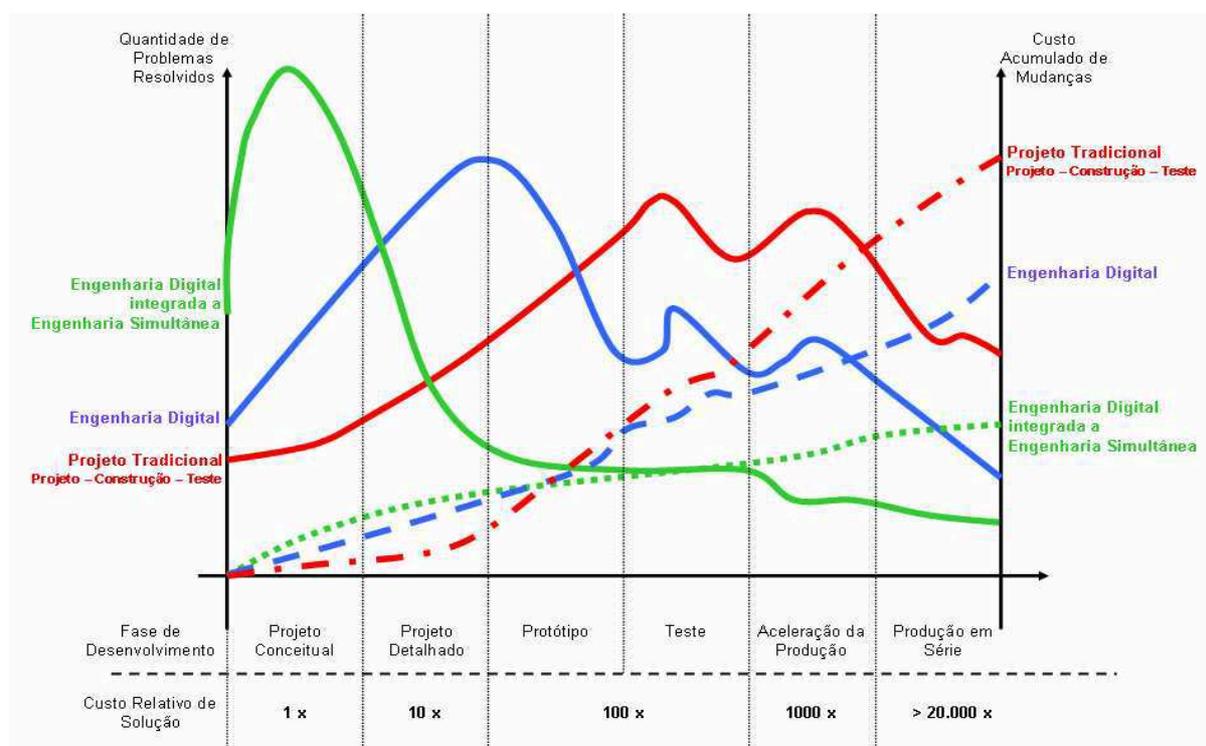


Figura 10 – Evolução da Quantidade de Problemas Solucionados e dos Custos Acumulados em Função do Processo de Desenvolvimento Utilizado (MILBURN, 2004).

Conforme Figura 11, em função desta redução de tempo e dos menores custos envolvidos, além de um aumento no grau de confiança em relação ao sucesso do produto em fases preliminares do projeto, obtem-se também melhores desempenhos sobre o retorno de investimentos.

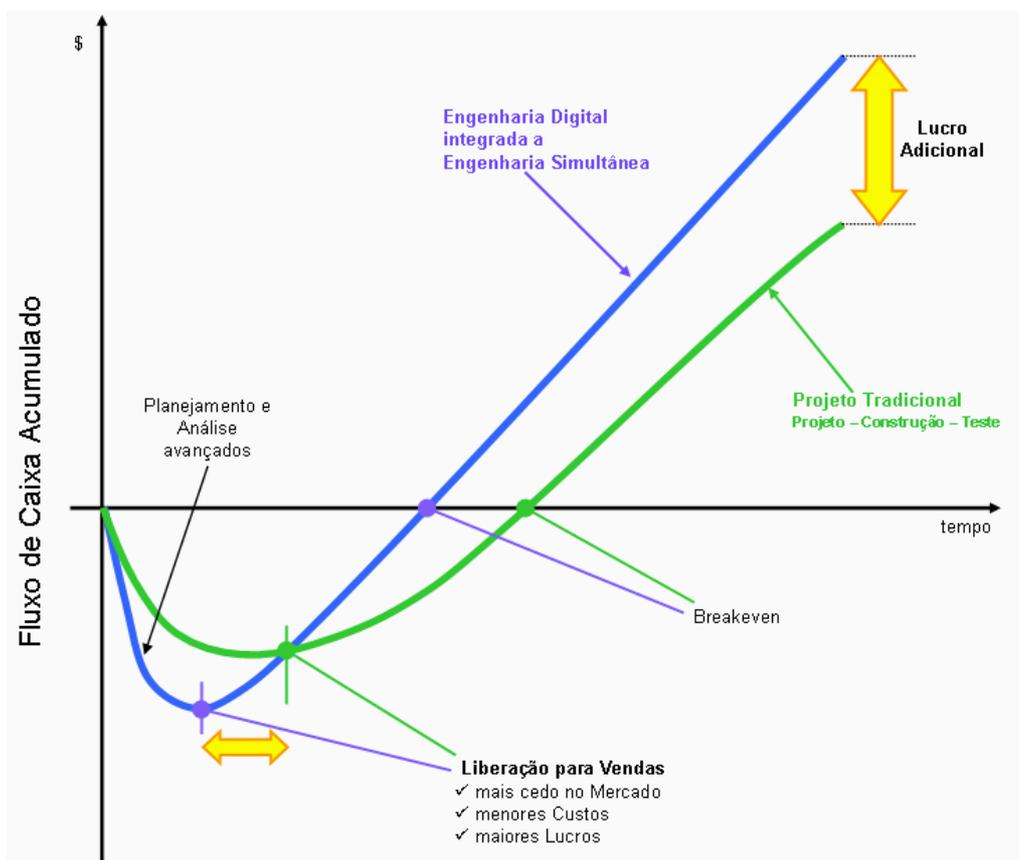


Figura 11 – Análise da Variação do Retorno sobre o Investimento em função do Processo de Desenvolvimento empregado (MILBURN, 2004).

2.6 Ring Digital

Ring é a tradução literal do termo utilizado pela Toyota para designar a fase de validação do produto e processo, pelos interlocutores ao redor de um meio digital ou físico (MORGAN, 2002).

O *ring digital* tem o princípio de efetuar em um espaço como um ringue de boxe, todas as etapas da construção de um veículo, peça-por-peça, passo-a-passo, na sua cronologia. Mesmo as ferramentas são materializadas, faltando apenas o movimento para restituir fielmente todas as operações de montagem.

Os principais atores do projeto do veículo reencontram-se em redor de um grande telão de projeção, onde cada operação é passada ao crivo da validação de todos os participantes (Figura 12).



Figura 12 – Imagens de uma sessão de *Ring Digital* na PSA Peugeot Citroen, na França.

Cada problema detectado é relatado em uma animação visual por *post-it*®, que consiste em um formulário padronizado para descrever o problema, incluindo figuras e a equipe imputada para solução do mesmo. Este nome é dado pelo seu formato e sua maneira de afixação no quadro de animação visual. Para que seu funcionamento seja perfeito, ele deve ser identificado na concepção e rapidamente corrigido, recomendado em até três dias.

O verdadeiro valor agregado deste instrumento dentro do projeto de um veículo é de identificar rapidamente os defeitos de concepção na visão de cronologia de montagem, antes das validações finais do produto e sem utilização de protótipos físicos e instalações industriais para simulações (Figura 13).

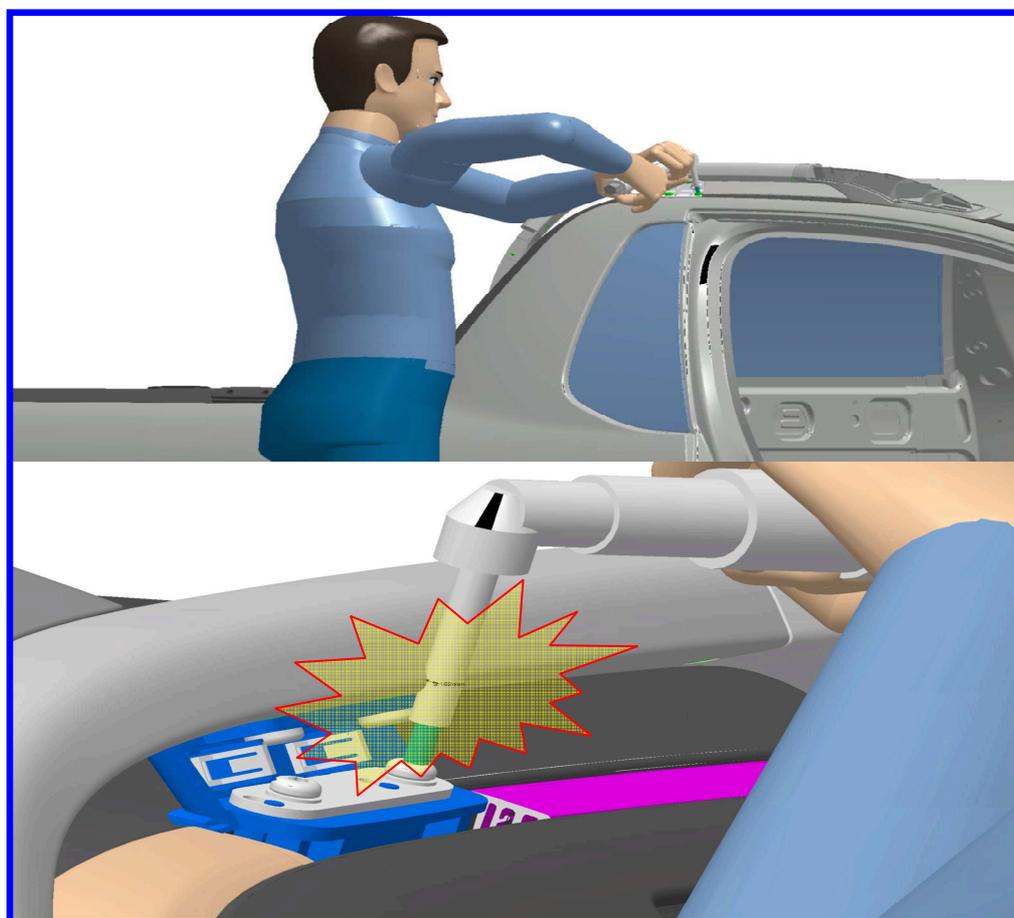


Figura 13 – Exemplo de identificação de problema na concepção do produto na visão de montagem, estudados pelo *Ring Digital* na PSA Peugeot Citroen no Brasil.

2.7 Gestão de Projetos em Desenvolvimento de Produtos

Um dos principais desafios no desenvolvimento de produtos é gerir e coordenar este processo altamente complexo. Por milhares de vezes, tarefas técnicas interdependentes devem ser executadas por centenas de pessoas que estão alocadas em vários departamentos funcionais, utilizando recursos compartilhados, resultando em um único produto, dentro de uma quantidade mínima de tempo (Figura 14). De acordo com Turtle (1994), aproximadamente 70% dos atrasos de projeto são causados por mal planejamento inicial.

As empresas estão implementando dentro da organização do desenvolvimento de produtos, ações para coordenar estas atividades, por meio do uso de portas de fase ou de validação (PUGH, 1996). Nesta estratégia, determina-se um plano-mestre do projeto que contém pontos de exame específicos no qual o andamento do projeto é revisto. Os projetos podem continuar até a próxima porta de verificação somente se alguns critérios pré-estabelecidos foram cumpridos.

Uma falha significativa deste método é que conduz para uma tendência para o trabalho em lotes, que é a principal causadora das filas e atrasos em projetos (REINERTSEN, 1997), com conseqüente super-utilização do sistema.

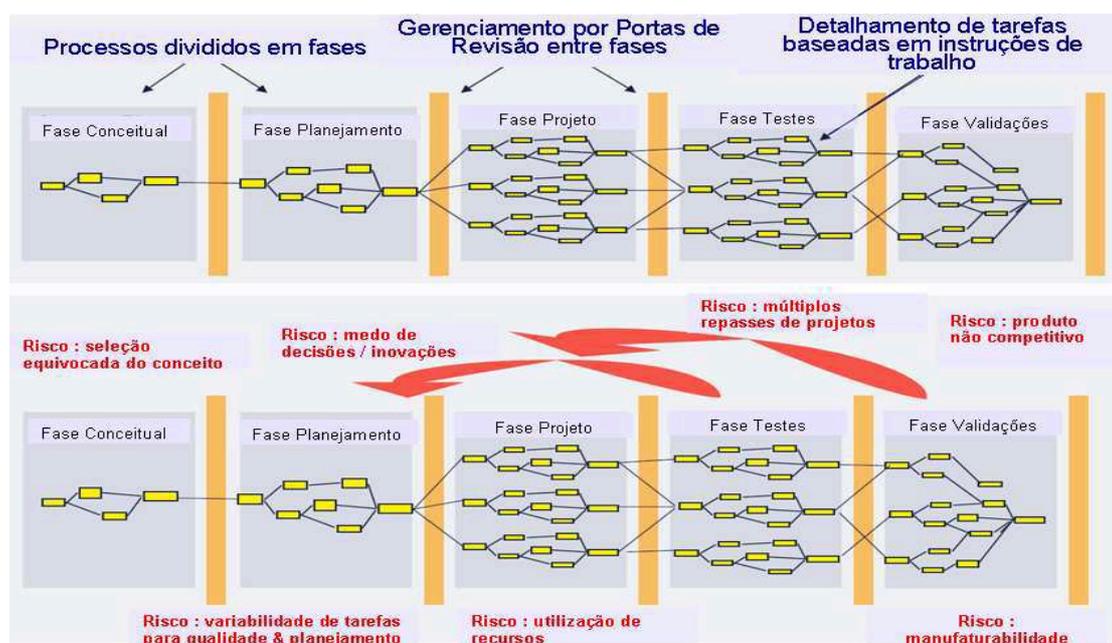


Figura 14 – Esquema operacional de desenvolvimento de produtos na indústria automobilística (KENNEDY, 2007).

Loch e Tenviesch (1999) analisaram os efeitos dos pedidos de alteração de engenharia na variação da utilização da capacidade. Descobriram que as mudanças de engenharia são fatores determinantes na variação de capacidade, pelos atrasos e custos elevados, e sugerem as seguintes soluções adaptadas de operações fundamentais da teoria da administração:

- ✓ Uma capacidade flexível para gerenciar os picos de demanda naturais do desenvolvimento de produtos e os efeitos aleatórios de alterações de engenharia,
- ✓ É desaconselhado ter uma estratégia de concentração de tarefas, onde uma única pessoa é capaz de realizar mais tarefas necessárias,
- ✓ Proporcionar o equilíbrio, o nivelamento e a partilha de cargas de trabalho,
- ✓ Uma gestão eficaz traz efeitos positivos sobre o desempenho do processo de desenvolvimento de produto.

2.8 Princípios do desenvolvimento de produtos de alta performance

Dyer e Nobeoka (1998) apresentam, após uma exaustiva pesquisa do processo de desenvolvimento de produtos na Toyota, 14 princípios fundamentais do *LPDP*, caminho para a criação de um processo de alto desempenho e seus três eixos de progresso (Figura 15):

- ✓ Entenda o que é valor para o seu cliente;
- ✓ *Gentchi Gembutsu*, que significa “verificar o problema *in-loco*”;
- ✓ Estabeleça metas bem concretas e mensuráveis;
- ✓ Estabelecer antecipadamente uma programação detalhada;
- ✓ Ter uma estratégia de capacidade flexível;
- ✓ A padronização rigorosa cria flexibilidade;
- ✓ Examine várias soluções alternativas;
- ✓ Criar equipes de “*front*” dentro do projeto de programas;
- ✓ Reduzir o “*hands-off*” (espera motivada pela descontinuidade dos trabalhos seqüenciados) e criar uma cultura de responsabilidade;
- ✓ Elimine o que não trazer valor agregado;

- ✓ Sincronizar os processos de execução simultânea;
- ✓ Minimizar a diversidade;
- ✓ Aplicar princípios do *Lean Manufacturing* dentro do ambiente do projeto;
- ✓ Manter a cultura da aprendizagem e melhoria contínua.

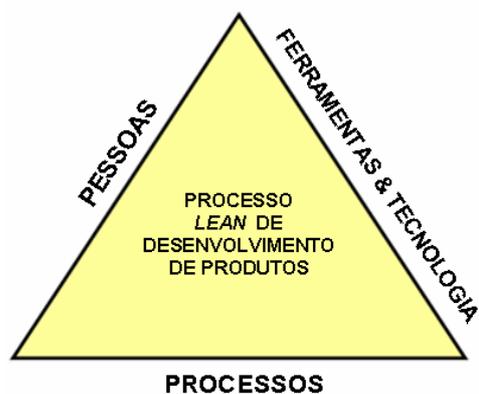


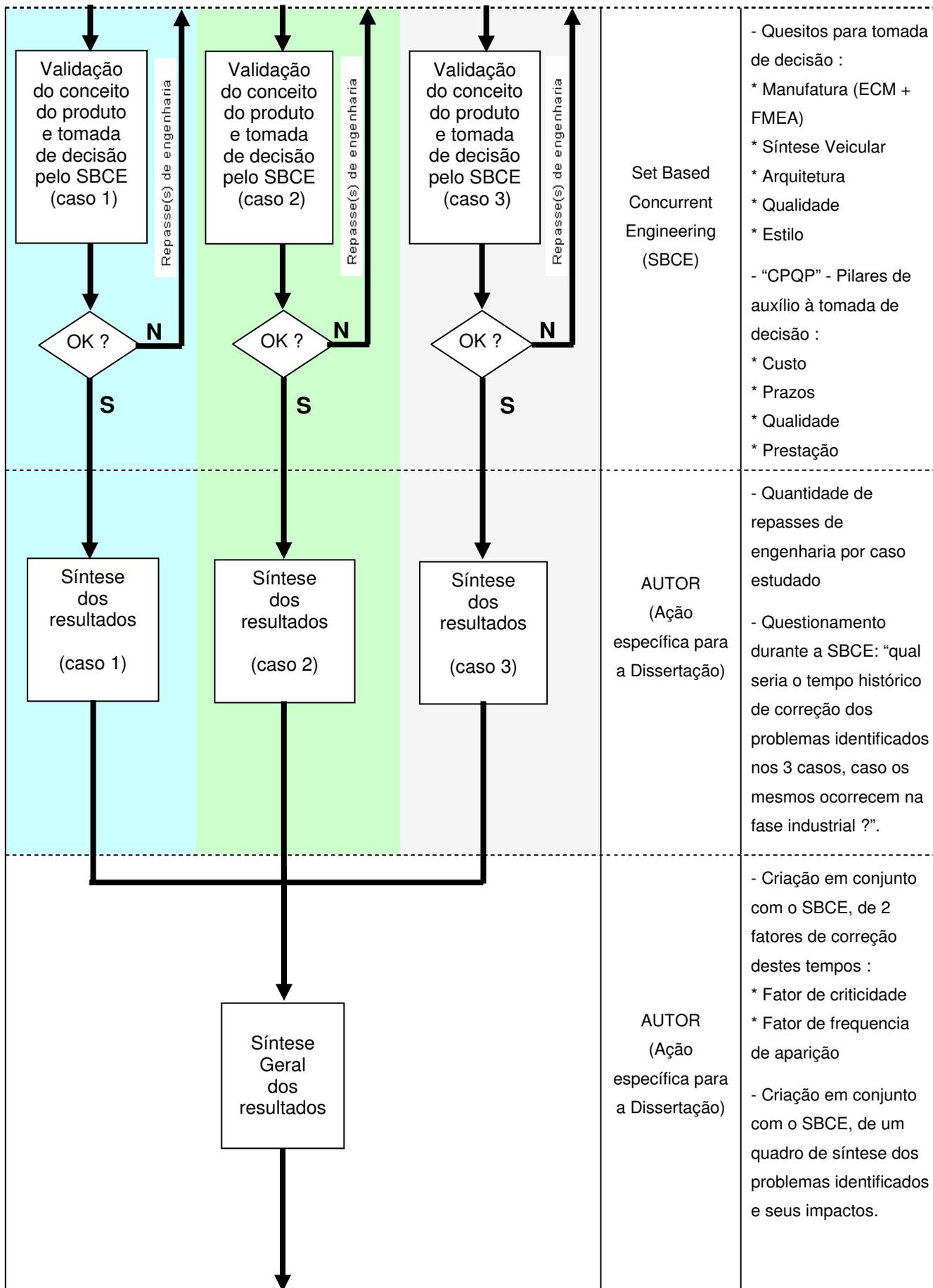
Figura 15 – Os três eixos de progresso do *Lean Product Development Process* (DYER e NOBEOKA, 1998).

3. METODOLOGIA

Para demonstrar a eficácia das análises de manufaturabilidade através de *mock-up's digitais*, avaliar seus resultados, e obter uma conclusão sobre a efetividade da prática, foi optado pela utilização de uma abordagem quantitativa com apresentação de um estudo de caso em uma empresa automobilística, com histórico organizacional, e tendo como fonte de dados os diários, documentos e históricos de desenvolvimento e problemas de manufaturabilidade, referentes ao método proposto e o método tradicional, em três casos específicos. Os métodos e fluxos de informação estão descritos no quadro abaixo (Quadro 1).

Quadro 1 – Fluxograma e Métodos utilizados nesta pesquisa.

Fluxograma e Métodos	Quem ?	Como ?
<p>Definição da concepção 3D do produto e periféricos (caso 1)</p> <p>Avaliação da performance do produto para a manufatura (caso 1)</p> <p>Feedback do quesito manufatura para validação do produto (caso 1)</p>	Engenharias de Produto + Arquitetura Veicular	<ul style="list-style-type: none"> - Concepção focada na performance de uso e de fabricação (business). - Validação de arquitetura e interface periférica
<p>Definição da concepção 3D do produto e periféricos (caso 2)</p> <p>Avaliação da performance do produto para a manufatura (caso 2)</p> <p>Feedback do quesito manufatura para validação do produto (caso 2)</p>	Engenharia de Manufatura + Representantes do Ring Digital	<ul style="list-style-type: none"> - Análise prévia da Eng. Manufatura. - Validação da montabilidade por mock-up's digitais, passagem pelos questionários ECM e FMEA
<p>Definição da concepção 3D do produto e periféricos (caso 3)</p> <p>Avaliação da performance do produto para a manufatura (caso 3)</p> <p>Feedback do quesito manufatura para validação do produto (caso 3)</p>	RING DIGITAL	<ul style="list-style-type: none"> - Síntese do Ring Digital - Divulgação de Notas : <ul style="list-style-type: none"> * Montabilidade * ECM * FMEA



<p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 150px; text-align: center;"> Projeção dos impactos no lead-time geral do programa </div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p style="text-align: center;">AUTOR (Ação específica para a Dissertação)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Criação em conjunto com o SBCE, de um modelo matemático para a projeção dos ganhos totais no lead-time do programa. - Cálculo dos ganhos utilizando os parâmetros apresentados no quadro de síntese geral dos problemas.
<p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 150px; text-align: center;"> Projeção dos ganhos financeiros totais no programa </div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p style="text-align: center;">AUTOR (Ação específica para a Dissertação)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Criação em conjunto com o SBCE, de um modelo matemático para a projeção dos ganhos financeiros totais no programa. - Cálculo financeiro a partir dos resultados da projeção de ganhos no lead-time do programa.
<p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 150px; text-align: center;"> DISCUSSÕES </div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p style="text-align: center;">AUTOR (Ação específica para a Dissertação)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Restituição das informações - Ganhos principais - Estimativas de ganhos secundários
<p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 150px; text-align: center;"> CONCLUSÕES </div>	<p style="text-align: center;">AUTOR (Ação específica para a Dissertação)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Contribuição à Engenharia - Reflexões sobre a prática - Objetivos alcançados

Os casos escolhidos dentro do programa foram (Figura 16) :

- ✓ Montagem da lanterna traseira,
- ✓ Montagem do extrator de ar
- ✓ Conexão elétrica do *break-light*.

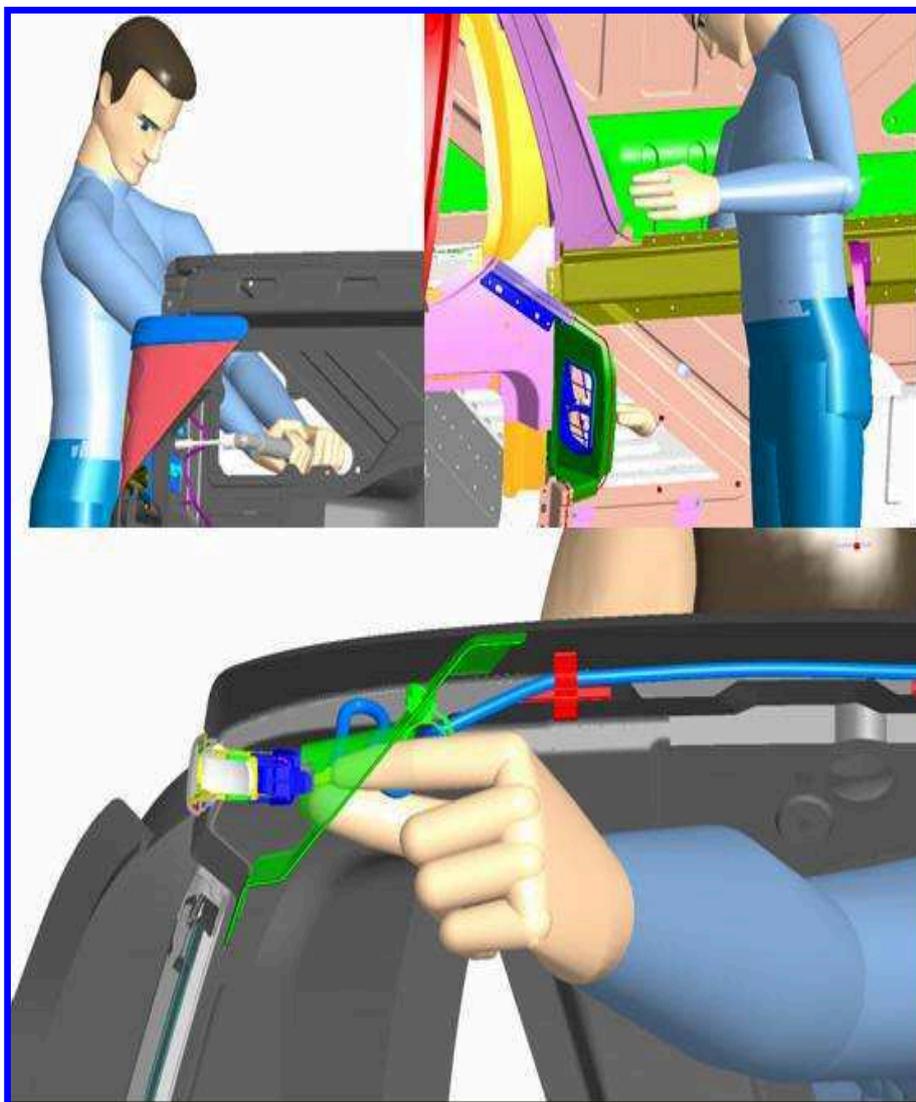


Figura 16 – Apresentação dos casos estudados pelo *Ring Digital* na PSA Peugeot Citroen, no Brasil.

3.1 Materiais

Os materiais listados abaixo, contemplam os recursos utilizados para a realização das sessões de *Ring Digital*, durante o projeto de um programa de um novo veículo (Quadro 2). Estes recursos podem ser divididos em grupos:

- ✓ Equipamentos;
- ✓ Ambiente;
- ✓ Tecnologia;
- ✓ Documentação.

Quadro 2 – Síntese dos materiais utilizados no *Ring Digital*.

GRUPO DE RECURSOS	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	CARACTERÍSTICAS
<u>Equipamentos</u>	1 computador / workstation CAD	HP xw4600 Workstation® Equipamento licenciado à PSA Peugeot Citroen Automóveis do Brasil
	1 projetor de imagens	“Cave Projection”
	1 telão de projeção	Telão projetado em 1500 x 2500 mm
<u>Ambiente</u>	Sala OBEYA do programa	Sala de comando do programa, com animação visual de todos os indicadores do projeto.
<u>Tecnologia</u>	Plataforma PLM - Software CAD - Software Administrador de banco de dados	CATIA® v5 - Dassault Systèmes Software licenciado à PSA Peugeot Citroen Automóveis do Brasil <u>Módulos:</u> <i>Part Design, Assembly Design, DMU Navigator, DMU Space Analysis, DMU Kinematics, Ergonomics Design & Analysis.</i> VPM® - Dassault Systèmes Software licenciado à PSA Peugeot Citroen Automóveis do Brasil
<u>Documentação</u>	Planning geral do Programa	Acompanhamento da evolução do projeto e convergência dos trabalhos do <i>Ring Digital</i> e validações do produto.
	Relatórios emitidos nas seções de “ring digital”.	Follow-up das propostas.
	Relatórios das seções do “set-based concurrent engineering”	Follow-up das evoluções produto.

3.2 Métodos

3.2.1 Aplicação de *Mock-up's* Digitais

Neste trabalho, é demonstrado o método de aplicação das análises de manufaturabilidade, através da ferramenta do *Mock-up Digital*, uma tecnologia que permite a visualização e validação em imagens virtuais em 3D, utilizando equipamentos computacionais do tipo Workstation CAD.

Foi utilizada uma plataforma PLM (*Product Lifecycle Management*), um produto da Dassault Systèmes, licenciado à PSA Peugeot Citroen Automóveis do Brasil (Figura 17). Os softwares desta plataforma utilizados foram :

- ✓ **CATIA® v5** - Software CAD;
- ✓ **VPM®** - Gerenciador de banco de dados ou da árvore de produtos

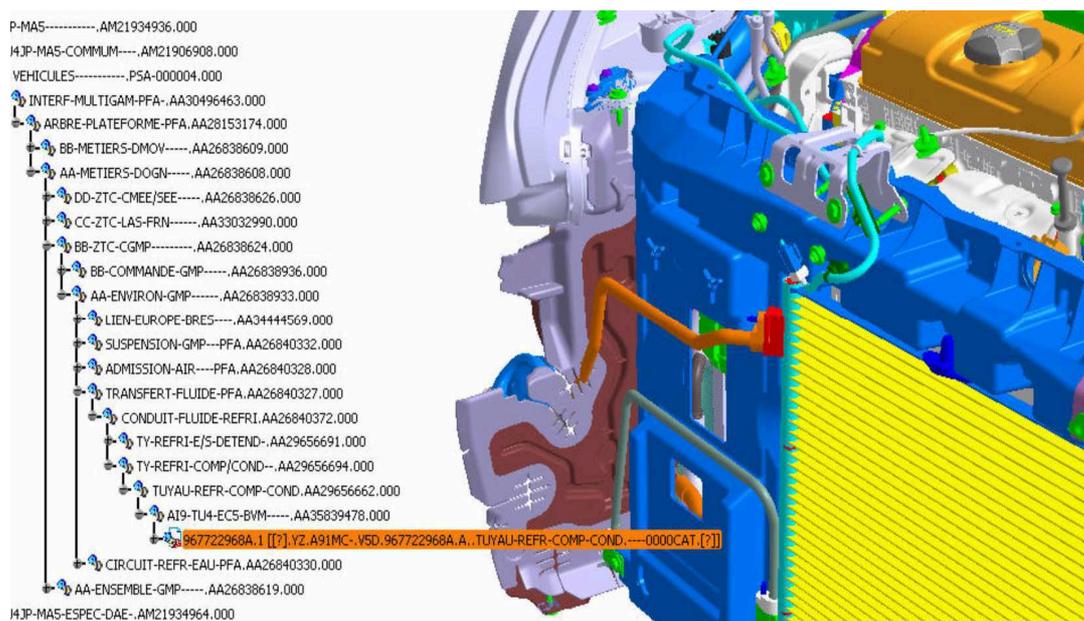


Figura 17 – Imagem dos softwares CATIA® v5 e VPM® em ação na PSA Peugeot Citroen, no Brasil.

Os módulos CATIA® v5 utilizados durante os trabalhos de montagem dos ambientes dos *Mock-up's* e análise virtual da manufaturabilidade foram :

- ✓ **Part Design** : módulo de construção do modelo 3D;
- ✓ **Assembly Design** : módulo de construção dos ambientes dos conjuntos;

- ✓ **DMU Navigator** : módulo de navegação no ambiente 3D;
- ✓ **DMU Space Analysis** : módulo de cálculo dimensional;
- ✓ **DMU Kinematics** : módulo de criação de movimentos em 3D;
- ✓ **Ergonomics Design & Analysis** : módulo de simulação da condição humana, via análise e cálculo por manequim humano 3D.

A partir destas ferramentas, realizam-se as construções dos *Mock-up's digitais* e as análises virtuais em 3D da manufaturabilidade dos produtos.

Estas representações tridimensionais permitem a construção e avaliação virtual de veículos completos, assistido pelos principais atores do projeto, assegurando que todas as partes irão apresentar condições de montagem e o produto estará de acordo com o especificado.

Para auxiliar os atores na validação, estas análises estão apoiadas em métodos de validação de origem produto e origem processo, conhecidos e amplamente difundidos no universo industrial, mas realizados de forma unificada e sistêmica, controlados pela rotina do *Ring Digital*.

Como itens de validação de origem processo, podemos citar :

- ✓ Acessibilidade: referem-se à condição do produto, mãos e qualquer outra parte do corpo do montador ou da ferramenta em alcançar a posição de montagem (Figura 18).

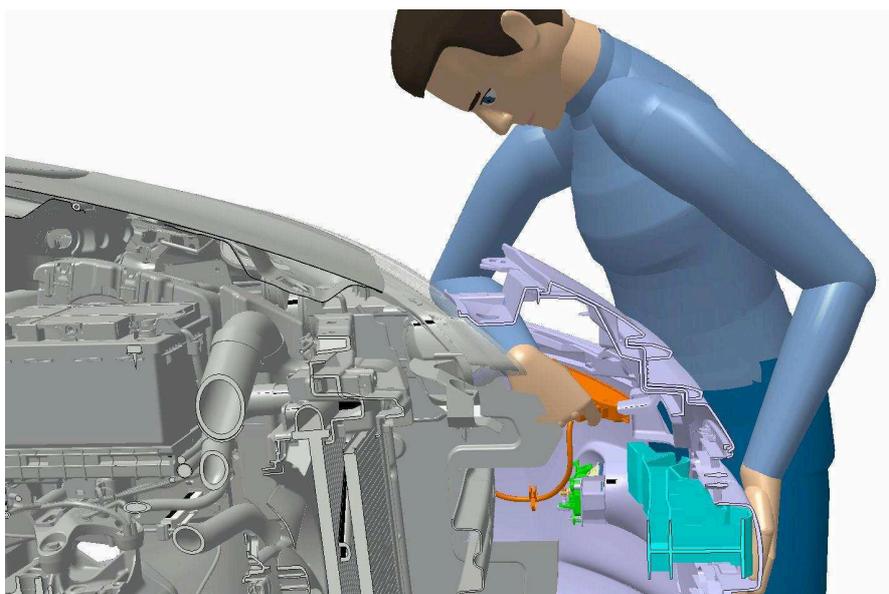


Figura 18 – Exemplo de análise de Acessibilidade estudada pelo *Ring Digital* na PSA Peugeot Citroen, no Brasil.

✓ Ergonomia: refere-se à condição do homem, na posição de montagem, e o respeito aos limites de movimentos e esforços, além das condições de segurança na execução da operação (Figura 19).

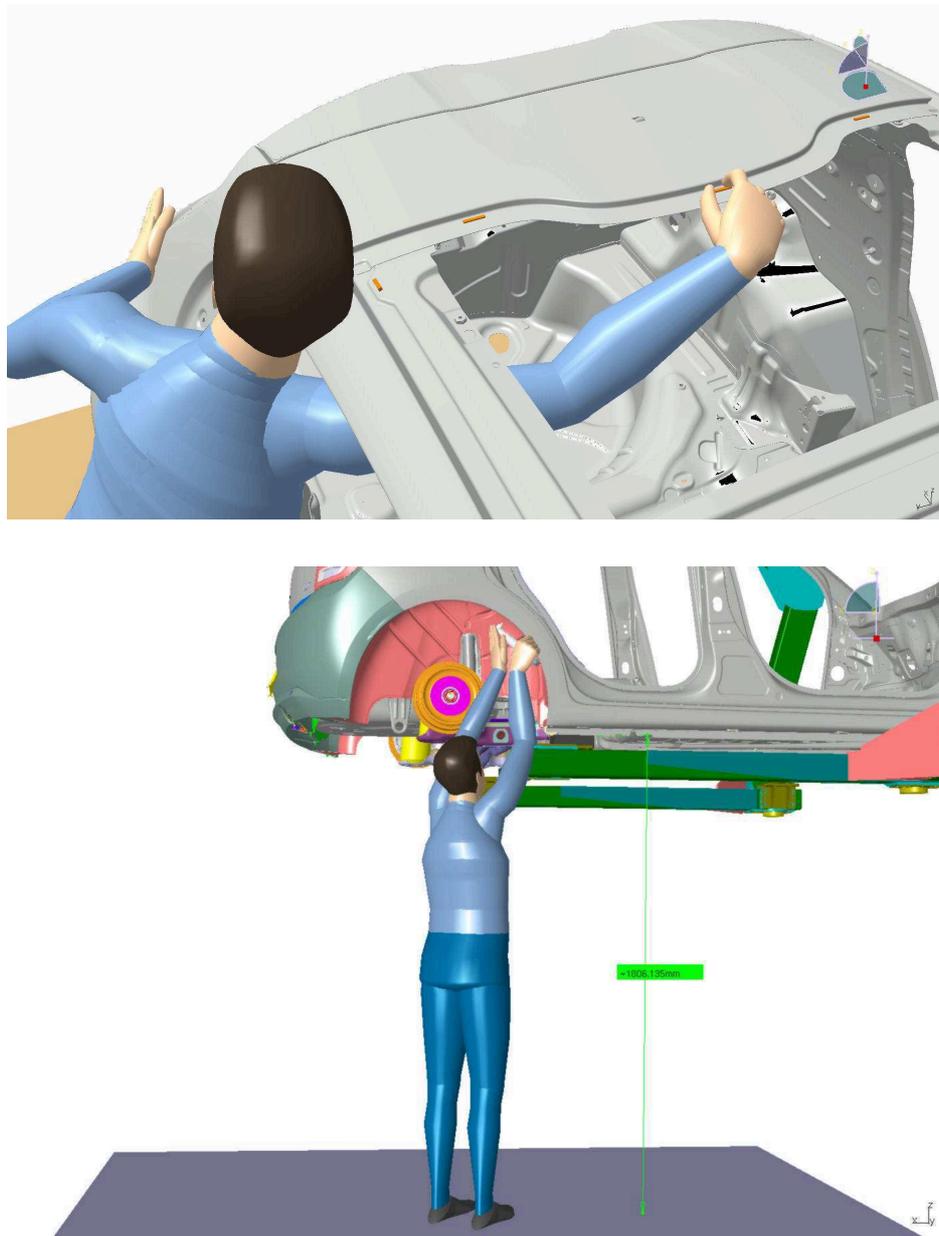


Figura 19 – Exemplos de análise de Ergonomia estudada pelo *Ring Digital* na PSA Peugeot Citroen, no Brasil.

✓ Montabilidade ou *feasibility* : refere-se a factibilidade de realizar a montagem proposta, através de métodos de produção ou tecnologia em equipamentos conhecidos e dominados (Figura 20).

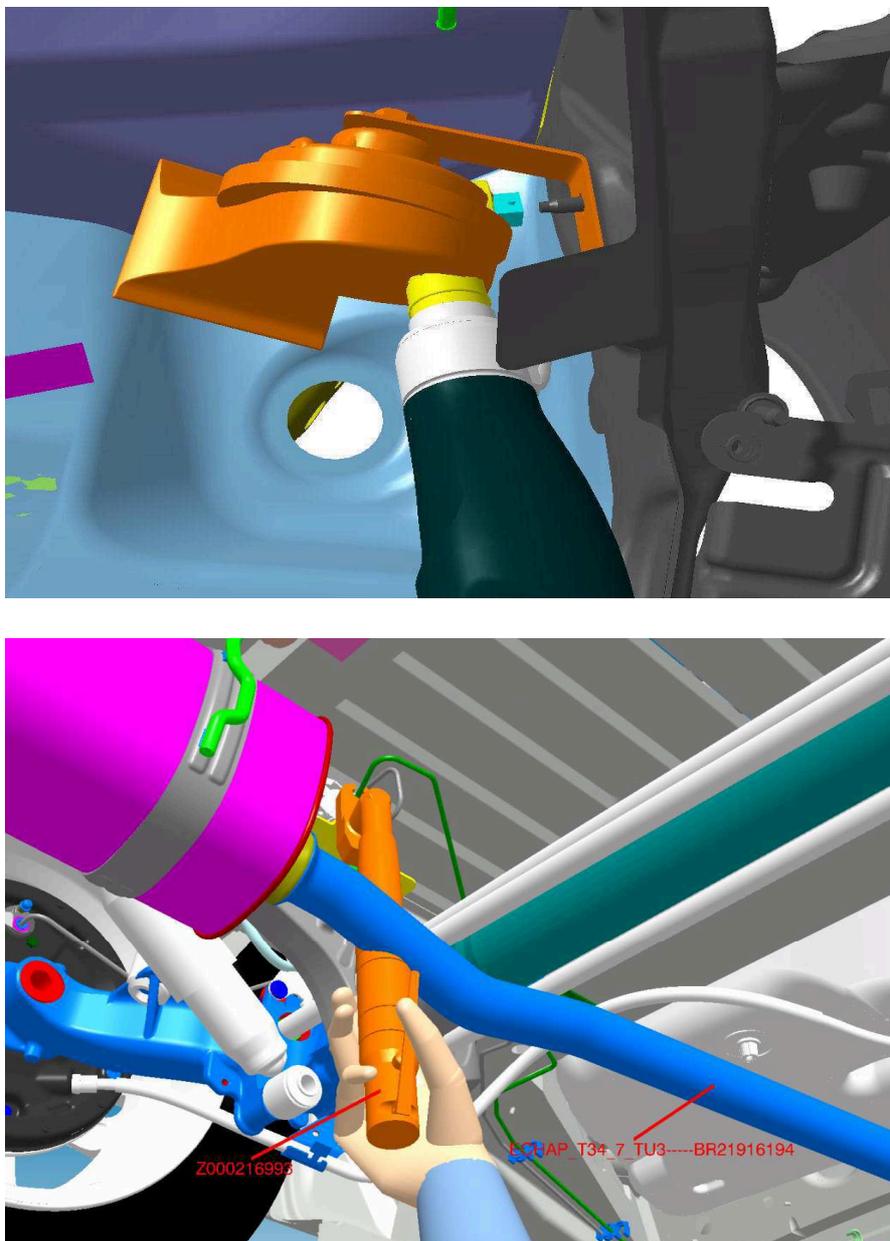


Figura 20 – Exemplos de análises de Montabilidade estudada pelo *Ring Digital* na PSA Peugeot Citroen, no Brasil.

Cabe ressaltar que não é de responsabilidade do *Ring Digital* validar o funcional do produto, sua implantação e arquitetura.

Como método de validação de origem produto utilizado pelo Ring Digital, temos o *CLASH*, que são casos de contato físico entre duas ou mais peças (Figura 21).

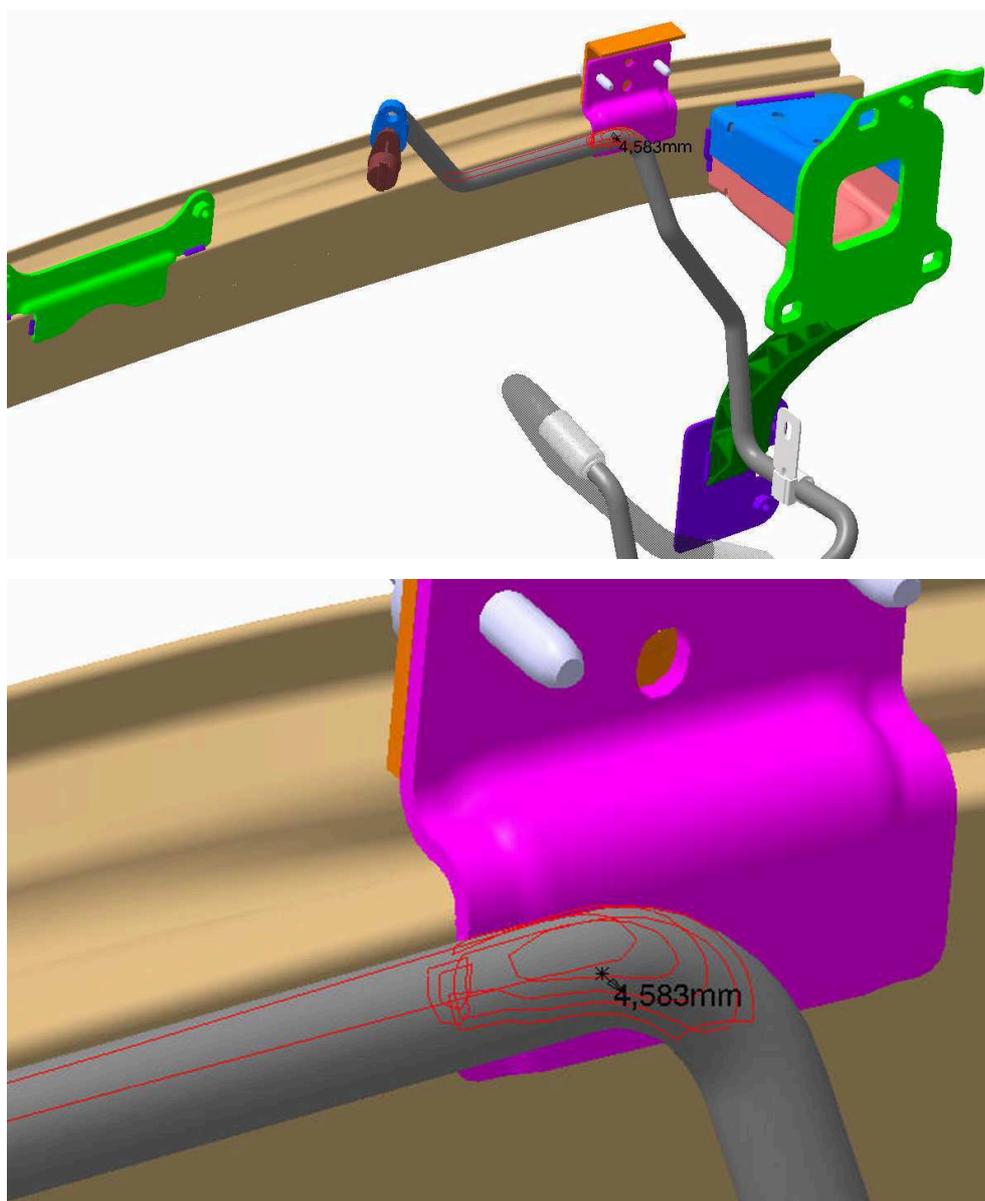


Figura 21 – Exemplo de análise de *CLASH* estudada pelo *Ring Digital* na PSA Peugeot Citroen, no Brasil.

3.2.2 Realização de *Ring's Digitais*

Neste trabalho, serão relatadas todas as passagens pelo crivo do *Ring Digital*, para aprovação dos três casos estudados, os problemas detectados e relatados ao “*Set-Based Concurrent Engineering*”.

A forma de apresentação será por meio de figuras tipo « *print-screen* » dos ambientes estudados em 3D virtual, e uma tabela de síntese, que é uma reprodução fiel do utilizado pelo *Ring* (Quadro 3).

Quadro 3 – Síntese da análise realizada pelo Ring Digital.

Engenharia de Manufatura	RING DIGITAL		
Peça ou função veículo:			
Ambiente atual	Itens de análise	nota	Problemas / Post-It®.
	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)		
	ECM		
	FMEA		
Ambiente proposto	Itens de análise	nota	Soluções / Comentários
	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)		
	ECM		
	FMEA		

Esta análise fornece notas em três itens de análise, para validação colegiada :

✓ Visão Manufaturabilidade **(OK ou NOK)**

- Verificação virtual de acessibilidade de membros do corpo e de ferramentas ;
- A ergonomia para realização da operação – análise esta realizada com auxílio de manequim humano, através do módulo CATIA® / *Ergonomics Design & Analysis* ;
- A montabilidade, como a visão da Engenharia de Manufatura de reproduzir o processo por meio de ferramentas e métodos.

✓ ECM – Avaliação de Condições de Montagem **(notas de 0 a 20)**

- Questionário auxiliar na condução do *Ring*, que induz na verificação exaustiva dos quesitos de montagem.
- Nota ZERO representa a impossibilidade de montar, e a nota 12 como a nota mínima para aprovação sem remarcas. Abaixo de 12 deve-se recomendar um plano de ação para melhoria do produto ou processo.

✓ FMEA – Análise de Falhas e seus Efeitos

- Sem itens com criticidade acima do limite.

A reprovação em um dos itens de análise conduz a apresentação pela equipe do *Ring Digital*, de uma proposta de ambiente de montagem para as equipes da Engenharia de Produtos, com notas estimadas, para que sejam verificadas as possibilidades de mudança do projeto e seus impactos econômicos e de cronogramas. Caso a proposta não possibilite a aprovação em todos os itens do *Ring Digital*, uma nova sessão de trabalhos deverá ser organizada, até que este objetivo seja alcançado, conforme a metodologia PDCA (*Plan, Do, Check and Act*).

Os problemas são reportados as equipes por meio de animação visual por *Post-It*® (Quadro 4).

Quadro 4 – Modelo de *Post-It*® utilizado nas sessões de *Ring*.

Post-It®		RING DIGITAL	
Programa :		<input type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PRODUTO	<input type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PROCESSO
Data :	Emitido por :	Tecnologia :	
Descrição do problema :			
Imagem do problema :			
Analisado por :	Data :	Tecnologia :	Data aplicação da solução :
Descrição da solução :			
Follow-up realizado por :	Data :	Eficácia :	Fechado em :

Existem dois quadros dentro do ambiente da sala *OBEYA* (em japonês = “Grande Sala”), durante a fase de desenvolvimento: o de concepção do produto e o de concepção do processo.

Todo problema resulta na abertura de um *Post-It*®, que é afixado a respectiva equipe de Engenharia dentro do quadro, delegado a solução do problema.

Um *Post-It*® tem um prazo de três dias para ser reportado uma solução e prazo de implementação. Caso isto não ocorra, o *Post-It*® passa para a posição « A » de atrasado, e este será acompanhado pessoalmente pelo Engenheiro-Chefe do programa (Quadros 5 e 6).

Quadro 5 – Modelo para afixação dos *Post-It*® com imputação na concepção do produto.

QUADRO ANIMAÇÃO Post-It®					
Programa :			CONCEPÇÃO DO PRODUTO		
Follow-up	CARROCERIA	INTERNOS	EXTERNOS	ELETRICA	MECANICA
D	o	o	o	o	o
D+1	o	o	o	o	o
D+2	o	o	o	o	o
A	o	o	o	o	o
R	o	o	o	o	o

Quadro 6 – Modelo para afixação dos *Post-It*® com imputação na concepção do processo.

QUADRO ANIMAÇÃO Post-It®					
Programa :			CONCEPÇÃO DO PROCESSO		
Follow-up	ESTAMPARIA	ARMAÇÃO	PINTURA	MONTAGEM	QUALIDADE
D	o	o	o	o	o
D+1	o	o	o	o	o
D+2	o	o	o	o	o
A	o	o	o	o	o
R	o	o	o	o	o

3.2.3 Relatos de passagem no *Set-Based Concurrent Engineering*

Neste trabalho, serão relatadas todas as passagens de decisão, referentes a modificações de produto originários do *Ring Digital*, os impactos e principalmente todo o ônus ao projeto. Durante as negociações sobre a melhor decisão da solução a aplicar, junto ao Engenheiro-Chefe e dentro da instância do *Set-Based Concurrent Engineering*, leva-se em conta sempre os quatro pilares do sucesso do programa, identificados pela sigla CPQP: Custos, Prazo, Qualidade, Prestação.

Quanto aos repasses de engenharia, o programa estudado foi convencionado e estruturado para haver apenas quatro repasses por caso, e os ganhos devem ser reportados em porcentagem em relação ao definido.

A forma de apresentação será por meio de uma tabela de síntese, que é uma reprodução fiel do utilizado pela instância de decisão (Quadro 7).

Quadro 7 – Síntese para decisão no *Set-Based Concurrent Engineering*.

SET-BASED CONCURRENT ENGINNERING		PEÇA ou FUNÇÃO :	
SERVIÇO / PARÂMETRO		NOTA	REMARCA / VEREDITO
Manufatura	RING (ECM)		
	FMEA		
Síntese Veicular	PIV		
Arquitetura	Crash's and Positions		
Qualidade	Robustez do projeto		
Estilo	Subjetivo		
Repasses de engenharia =			

3.2.4 Técnica utilizada para projeção dos impactos no programa

Para obter uma formatação do pensamento sobre a contribuição da prática, no total do trabalho de desenvolvimento de um programa de um novo veículo, será apresentada neste trabalho uma projeção estatística de ganhos totais no programa, por meio de um modelo matemático para projeção dos ganhos, partindo dos resultados dos três casos observados.

Segundo Triola (2008), a estatística utiliza-se das teorias probabilísticas para explicar a frequência da ocorrência de eventos, tanto em estudos observacionais quanto em experimento modelar a aleatoriedade e a incerteza de forma a estimar ou possibilitar a previsão de fenômenos futuros, conforme o caso.

Um modelo matemático é uma representação ou interpretação simplificada da realidade, ou uma interpretação de um fragmento de um sistema, segundo uma estrutura de conceitos mentais ou experimentais. O Modelo Matemático é uma imagem que se forma na mente, no momento em que o espírito racional busca compreender e expressar de forma intuitiva uma sensação, procurando relacionar com algo já conhecido, efetuando deduções. Os principais objetivos para a construção de um Modelo Matemático é de obter respostas sobre o que acontecerá no mundo físico e influenciar a experimentação ou as observações posteriores.

Durante as sessões do *Set-Based Concurrent Engineering*, realizadas no programa de um novo veículo, foi questionado a todos os Engenheiros especialistas de cada função do veículo, como estimar “um possível impacto” no programa, que neste caso se traduziria em atrasos, caso estes problemas detectados no *Ring Digital* fossem identificados somente na fase industrial, neste caso na montagem física do veículo.

A primeira reflexão do grupo foi de estudar todos os 64 itens impactados no programa estudado, e gerar uma média de todos os tempos históricos de correção. Estes dados históricos seriam fornecidos pelos Engenheiros especialistas de cada função do veículo, a partir de um questionário com tempos de casos semelhantes ocorridos em programas anteriores.

Seria necessário também, somar a parte de ganhos de repasse de Engenharia em cada caso estudado. O primeiro modelo matemático criado pelos membros do *Set-Based Concurrent Engineering* é expresso abaixo (Equação 1) :

$$PI_{tp} = \frac{[(t_{sp1} + t_{rel}) + (t_{sp2} + t_{rel2}) + \dots + (t_{sp64} + t_{rel64})]}{TT_p} \quad (1)$$

As variáveis que compõem o modelo matemático estão descritos abaixo:

PI_{tp} = Projeção do impacto total no cronograma do programa

t_{sp_n} = Tempo de solução do problema no caso “n”

t_{re_n} = Tempo ganho em repasses de engenharia no caso “n”

TT_p = Tempo total de desenvolvimento do programa – « time to market »

Porém, este primeiro modelo foi abandonado, pela identificação de algumas impossibilidades de realização, como :

- ✓ O longo prazo para realização da pesquisa, em realizando a passagem nos 64 itens, tempo este estimado em 20 meses;
- ✓ A proibição pela empresa estudada, de apresentar todos os itens impactados pelo programa, pelo efeito da estratégia de confidencialidade;
- ✓ A dificuldade em obter os tempos ganhos em repasses de Engenharia, pela complexidade de suas rotinas (planejamento, convocação, tempo de reunião, replanejamentos, ...).

A segunda reflexão do grupo foi de criar um modelo para projeção dos impactos a partir de somente 3 casos escolhidos, em comum acordo com a empresa estudada, garantindo a confidencialidade, mas também garantindo a representatividade dos dados para a pesquisa.

A partir de dados históricos dos tempos de correção dos problemas identificados nos 3 casos, fornecidos pelos Engenheiros especialistas de cada função do veículo, a partir de um questionário com tempos de casos semelhantes ocorridos em programas anteriores; seria gerado um tempo médio de correção dos problemas, e dividido pelo tempo total de desenvolvimento do programa, teria uma primeira parte da projeção do impacto total no cronograma.

Para a parte dos ganhos gerados pela redução dos repasses de Engenharia, conforme relatado no capítulo 3.2.3 – Relatos de passagem no *Set-Based Concurrent Engineering*, o programa estudado foi convencionado e estruturado para haver apenas 4 repasses por caso, e os ganhos devem ser reportados através de porcentagem em relação ao definido.

De forma a completar o impacto, os ganhos de repasses de engenharia deveriam ser potencializados nos três casos e somados a primeira parte da projeção.

O segundo modelo matemático criado pelos membros do *Set-Based Concurrent Engineering* é expresso abaixo (Equação 2) :

$$PI_{tp} = \frac{\left(\frac{t_{sp1} + t_{sp2} + t_{sp3}}{3} \right)}{TT_p} + (g_{re1} \times g_{re2} \times g_{re3}) \quad (2)$$

As variáveis que compõem o modelo matemático estão descritos abaixo:

PI_{tp} = Projeção do impacto total no cronograma do programa

t_{sp1} = Tempo de solução do problema no caso 1

t_{sp2} = Tempo de solução do problema no caso 2

t_{sp3} = Tempo de solução do problema no caso 3

g_{re1} = % de ganho em repasse de engenharia do problema no caso 1

g_{re2} = % de ganho em repasse de engenharia do problema no caso 2

g_{re3} = % de ganho em repasse de engenharia do problema no caso 3

TT_p = Tempo total de desenvolvimento do programa – « time to market »

Também este segundo modelo foi abandonado, pois alguns membros do *SBCE* não creditavam como representativo uma média simples dos tempos de correção, pois poderia superestimar os ganhos pela falta de uma ponderação destes dados históricos em relação ao todo, que neste caso seriam todos os itens impactados no programa estudado.

Na terceira reflexão realizada pelos membros do *SBCE*, um novo modelo matemático foi criado, e todos foram unânimes da necessidade de escolha de no mínimo 3 casos para efeito de média ponderada, e que um tabelamento de tempos

de correção destes problemas, com aparecimento na fase industrial, deveria ser criado com base nos dados históricos de correção realizados por todos os Engenheiros especialistas de cada função do veículo, a partir de um questionário com tempos de casos semelhantes ocorridos em programas anteriores.

Foi explanada também a necessidade de criação de fatores de correção destes tempos, de modo que possam ser representativos como tempos médios ponderados. Estes fatores deveriam ter como base a criticidade de aparição do problema e a freqüência de aparição.

A soma dos três tempos médios ponderados multiplicados pela quantidade total de itens trabalhados pelo programa, traria um efeito potencializador, e divididos pelo tempo total de desenvolvimento do programa teria uma primeira parte da projeção do impacto total no cronograma.

De forma a completar o impacto, os ganhos de repasses de engenharia deveriam ser potencializados nos três casos e somados a primeira parte da projeção. Os ganhos de repasse de engenharia são complementares aos ganhos de não aparecimento dos problemas na fase industrial, e sua potencialização é necessária para se obter uma média ponderada dos ganhos.

Do resultado final é esperada uma representatividade do ganho total no programa, sobre todos os casos de solução de problemas de manufaturabilidade, antes da fase industrial.

Desta forma, o modelo matemático criado pelos representantes do *Set-Based Concurrent Engineering*, quando questionados sobre esta possibilidade, é expresso abaixo (Equação 3) :

$$PI_{tp} = \frac{[(t_{sp1} \times f_{cr1} \times f_{fq1}) + (t_{sp2} \times f_{cr2} \times f_{fq2}) + (t_{sp3} \times f_{cr3} \times f_{fq3})] \times Q_{pip}}{TT_p} + (g_{re1} \times g_{re2} \times g_{re3}) \quad (3)$$

As variáveis que compõem o modelo matemático estão descritos abaixo:

PI_{tp} = Projeção do impacto total no cronograma do programa

t_{sp1} = Tempo de solução do problema no caso 1

f_{cr1} = Fator de criticidade do problema no caso 1

f_{fq1} = Fator de frequência de aparição do problema no caso 1

t_{sp2} = Tempo de solução do problema no caso 2

f_{cr2} = Fator de criticidade do problema no caso 2

f_{fq2} = Fator de frequência de aparição do problema no caso 2

t_{sp3} = Tempo de solução do problema no caso 3

f_{cr3} = Fator de criticidade do problema no caso 3

f_{fq3} = Fator de frequência de aparição do problema no caso 3

g_{re1} = % de ganho em repasse de engenharia do problema no caso 1

g_{re2} = % de ganho em repasse de engenharia do problema no caso 2

g_{re3} = % de ganho em repasse de engenharia do problema no caso 3

Q_{pip} = Quantidade de peças impactadas pelo programa

TT_p = Tempo total de desenvolvimento do programa – « time to market »

Os fatores de correção dos tempos históricos foram criados a partir de retornos de experiência de programas anteriores. O fator de criticidade retrata o nível de falhas potenciais que a solução proposta pode desencadear, e está dividido em 3 níveis :

- ✓ Nível baixo = de 0 a 2% de falhas
- ✓ Nível médio = de 2 a 6% de falhas
- ✓ Nível alto = de 6 a 10% de falhas

Por convencionamento, em cada nível será utilizado somente o maior valor da faixa, para efeito de cálculo.

O fator de frequência retrata o nível de aparições deste mesmo problema ou em analogia com casos ocorridos anteriormente em outros programas, e está dividido em 3 níveis :

- ✓ Nível baixo = de 0 a 1% de aparições
- ✓ Nível médio = de 1 a 3% de aparições
- ✓ Nível alto = de 3 a 5% de aparições

Por convencionamento, em cada nível será utilizado somente o maior valor da faixa, para efeito de cálculo.

Pelo quadro abaixo, identifica-se os fatores de correção dos tempos de solução, criados de comum acordo com os representantes do *Set-Based Concurrent Engineering* (Quadro 8) :

Quadro 8 – Fatores de correção dos tempos de solução.

Fator / IMPACTO	ALTO	MÉDIO	BAIXO
f_{cr}	0,10	0,06	0,02
f_{fq}	0,05	0,03	0,01

A forma de apresentação dos impactos informados pelos representantes do *Set-Based Concurrent Engineering*, será por meio de uma tabela de síntese, conforme Quadro 9:

Quadro 9 – Síntese dos impactos divulgados pelo Set-Based Concurrent Engineering.

PROBLEMA	SOLUÇÃO	TEMPO HISTÓRICO DE CORREÇÃO Aparição na fase industrial	CRITICIDADE Aparição na fase industrial	FREQUENCIA Aparição na fase industrial

Complementando a linha de raciocínio, todos os Engenheiros especialistas recomendaram a valorização destes ganhos em forma de ganhos financeiros, representados em moeda forte. Para obter esta valorização, uma projeção deveria ser criada com base nos ganhos no *lead-time* do projeto, multiplicado em todo o programa. A partir deste, aplicar este ganho sobre todos os recursos humanos do projeto.

Desta forma, o modelo matemático para projetar os ganhos financeiros no programa do novo veículo, a partir da redução do lead-time do projeto, é expresso abaixo (Equação 4) :

$$PI_{fp} = (PI_{tp} \times TT_p) \times TX_{std} \times Q_{hep} \quad (4)$$

As variáveis que compõem o modelo matemático estão descritos abaixo:

PI_{fp} = Projeção do impacto financeiro no programa (em €)

PI_{tp} = Projeção do impacto total no cronograma do programa

TT_p = Tempo total de desenvolvimento do programa – « time to market »

TX_{std} = Taxa Standard do custo-homem (em €/mês)

Q_{hep} = Quantidade de homens envolvidos no programa

Este modelo foi escolhido por todos, como o de melhor representatividade para esta pesquisa.

4. RESULTADOS

4.1 Caso da montagem da lanterna traseira (caso 1).

Com a presença de todos os atores do projeto, foram realizadas as análises da montagem da lanterna traseira, através do *mock-up digital* projetado em telão, e as imagens manuseadas e selecionadas de acordo com os comentários, as respostas dadas durante a ECM e na preparação do FMEA de processo (Figura 22). Todos os problemas de concepção encontrados estão devidamente documentados através de *Post-It*® (anexos A e B).

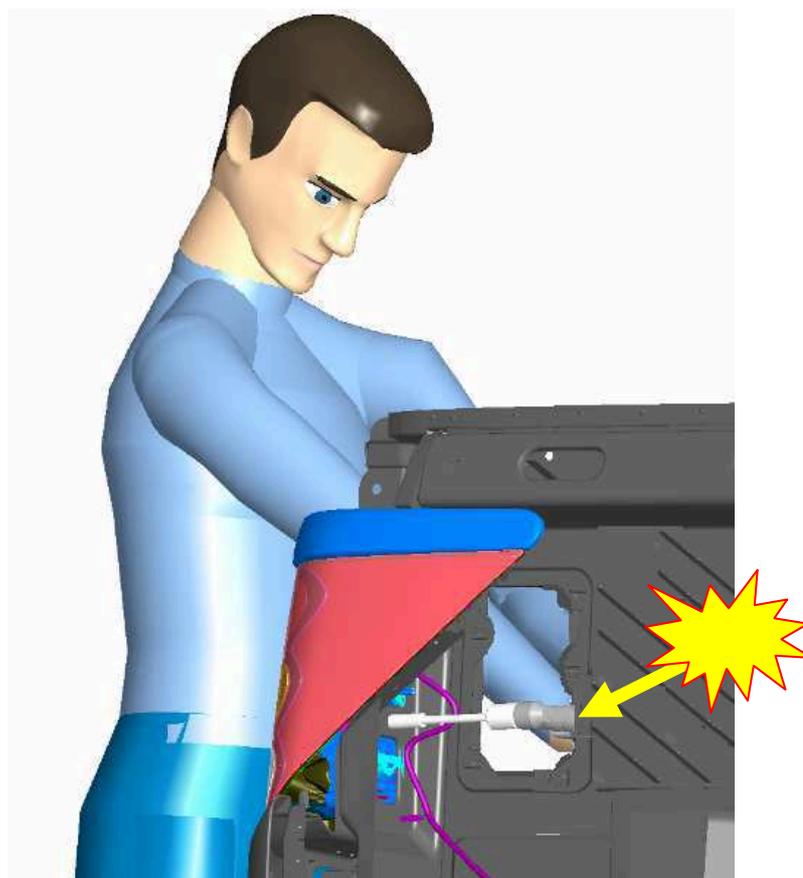


Figura 22 – Imagem selecionada durante o *Ring Digital* no caso da montagem da lanterna traseira.

Após reportar o problema ao *Set-Based Concurrent Engineering*, uma nova concepção é apresentada e uma nova sessão de *Ring Digital* é realizada. Até obter a solução ideal, realizam-se diversas sessões ou “repases de engenharia”. Neste caso foram realizados 3 repases até obter a solução ideal (Figura 23).

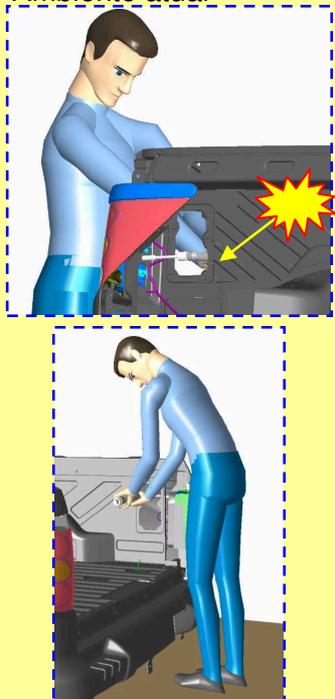


Figura 23 – Imagem da solução final, após o último repasse de engenharia, durante o *Ring Digital* no caso da montagem da lanterna traseira.

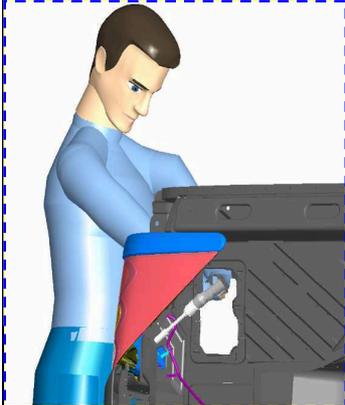
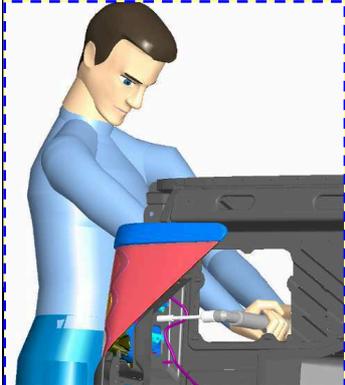
É demonstrado pelos quadros abaixo, o histórico dos relatos nas passagens em *Ring Digital*, para o caso da montagem da lanterna traseira, conforme Quadros 10, 11 e 12.

As várias passagens em *Ring Digital* respeitam a metodologia PDCA e a formatação de negociação fundamentada nos pilares CPQP.

Quadro 10 – Síntese da 1ª passagem em *Ring Digital* – caso « Lanterna Traseira »

Engenharia de Manufatura	RING DIGITAL		
Peça ou função veículo : Lanterna Traseira LD/LE			
Ambiente atual	Itens de análise	nota	Problemas / Post-It®
	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)	NOK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sem acesso ao conjunto parafusadeira + extensão + soquete na janela de acesso ; ✓ Montagem cega ; ✓ Posição incômoda de montagem.
	ECM	0,0	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nota ZERO, motivado pela impossibilidade de realizar as fixações.
	FMEA	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sem recomendações, pois se trata de carry-over da lanterna.
Ambiente proposto	Itens de análise	nota	Soluções / Comentários
	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)	NOK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Montagem cega ; ✓ Posição incômoda de montagem. ✓ Parafusagem em ângulo
	ECM	9,42	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reprovado, por comprometer o resultado da fixação.
	FMEA	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sem recomendações,

Quadro 11 – Síntese da 2ª passagem em *Ring Digital* – caso « Lanterna Traseira »

Engenharia de Manufatura	RING DIGITAL		
Peça ou função veículo : Lanterna Traseira LD/LE			
Ambiente atual	Itens de análise	nota	Soluções / Comentários
	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)	NOK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Montagem cega ; ✓ Posição incômoda de montagem. ✓ Parafusagem em ângulo
	ECM	9,42	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reprovado, por comprometer o resultado da fixação.
	FMEA	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sem recomendações.
Ambiente proposto	Itens de análise	nota	Soluções / Comentários
	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento da janela de acesso a fixações, conforme limites estabelecidos pela Manufatura ; ✓ Posição incômoda de montagem. ✓ Montagem cega,
	ECM	11,20	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aprovado, operação factível de reprodução.
	FMEA	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sem recomendações, pois se trata de carry-over da lanterna.

Quadro 12 – Síntese da 3ª passagem em *Ring Digital* – caso « Lanterna Traseira »

Engenharia de Manufatura	RING DIGITAL		
Peça ou função veículo : Lanterna Traseira LD/LE			
Ambiente atual	Itens de análise	nota	Soluções / Comentários
	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento da janela de acesso a fixações, conforme limites estabelecidos pela Manufatura ; ✓ Posição incômoda de montagem. ✓ Montagem cega,
	ECM	11,20	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aprovado, com ressalvas penalizantes.
	FMEA	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sem recomendações, pois se trata de carry-over da lanterna.
Ambiente proposto	Itens de análise	nota	Soluções / Comentários
 	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento da janela de acesso a fixações, conforme limites estabelecidos pela Manufatura e Estilo ; ✓ Posição sentado ; ✓ Montagem cega, melhorado pela possibilidade de utilizar a orientação do tato.
	ECM	13,65	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aprovado, operação factível de reprodução.
	FMEA	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sem recomendações, pois se trata de carry-over da lanterna.

Os relatos das 3 passagens em *Ring Digital* foram transmitidos à instância do *Set-Based Concurrent Engineering*, que promoveram as decisões abaixo (Quadros 13, 14 e 15) :

Quadro 13 – Síntese da 1ª passagem em decisão *Set-Based Concurrent Engineering* – caso « Lanterna Traseira ».

SET-BASED CONCURRENT ENGINEERING		PEÇA ou FUNÇÃO : Lanterna Traseira LD/LE	
SERVIÇO / PARÂMETRO		NOTA	REMARCA / VEREDITO
Manufatura	RING (ECM)	9,42	✓ Reprovado
	FMEA	OK	
Síntese Veicular	PIV	OK	✓ Validado
Arquitetura	Crash's and Positions	OK	✓ Validado
Qualidade	Robustez do projeto	NOK	✓ Concepção reprovada
Estilo	Subjetivo	OK	✓ Validado.
Repasses de engenharia =		1	

Quadro 14 – Síntese da 2ª passagem em decisão *Set-Based Concurrent Engineering* – caso « Lanterna Traseira ».

SET-BASED CONCURRENT ENGINEERING		PEÇA ou FUNÇÃO : Lanterna Traseira LD/LE	
SERVIÇO / PARÂMETRO		NOTA	REMARCA / VEREDITO
Manufatura	RING (ECM)	11,20	✓ Aprovado com ressalvas.
	FMEA	OK	
Síntese Veicular	PIV	OK	✓ Validado
Arquitetura	Crash's and Positions	OK	✓ Validado
Qualidade	Robustez do projeto	NOK	✓ Concepção reprovada
Estilo	Subjetivo	NOK	✓ Harmonia reprovada.
Repasses de engenharia =		2	

Quadro 15 – Síntese da 3ª passagem em decisão *Set-Based Concurrent Engineering* – caso « Lanterna Traseira ».

SET-BASED CONCURRENT ENGINEERING		PEÇA ou FUNÇÃO : Lanterna Traseira LD/LE	
SERVIÇO / PARÂMETRO		NOTA	REMARCA / VEREDITO
Manufatura	RING (ECM)	13,65	✓ Aumentar a janela de acesso às fixações e posição de montagem.
	FMEA	OK	
Síntese Veicular	PIV	OK	✓ Validado
Arquitetura	Crash's and Positions	OK	✓ Validado
Qualidade	Robustez do projeto	OK	✓ Autorizar modificações no projeto do produto
Estilo	Subjetivo	OK	✓ O aumento da janela deverá ser no formato triangular, para harmonizar estilo.
Repasses de engenharia =		3	

Os valores históricos sobre uma possível correção somente na fase industrial, foram fornecidos pelos Engenheiros especialistas de cada função do veículo (anexos C, D e E), quando questionados hipoteticamente ao fim da sessão, conforme relato da última passagem no Quadro 16:

Quadro 16 – Impacto informado pelo *Set-Based Concurrent Engineering* – caso « Lanterna Traseira ».

PROBLEMA	SOLUÇÃO	TEMPO HISTÓRICO DE CORREÇÃO aparição na fase industrial	CRITICIDADE aparição na fase industrial	FREQUENCIA aparição na fase industrial
Acesso	Aumentar as janelas de acesso, nas laterais da carroceria.	6 meses	Alta (f=0,1)	Médio (f=0,03)

4.2 Caso da montagem do extrator de ar (caso 2).

Com a presença de todos os atores do projeto, foram realizadas as análises da montagem do extrator de ar, através do *mock-up digital* projetado em telão, e as imagens manuseadas e selecionadas de acordo com os comentários, as respostas dadas durante a ECM e na preparação do FMEA de processo (Figura 24). Todos os problemas de concepção encontrados estão devidamente documentados através de *Post-It*® (anexos F, G e H).

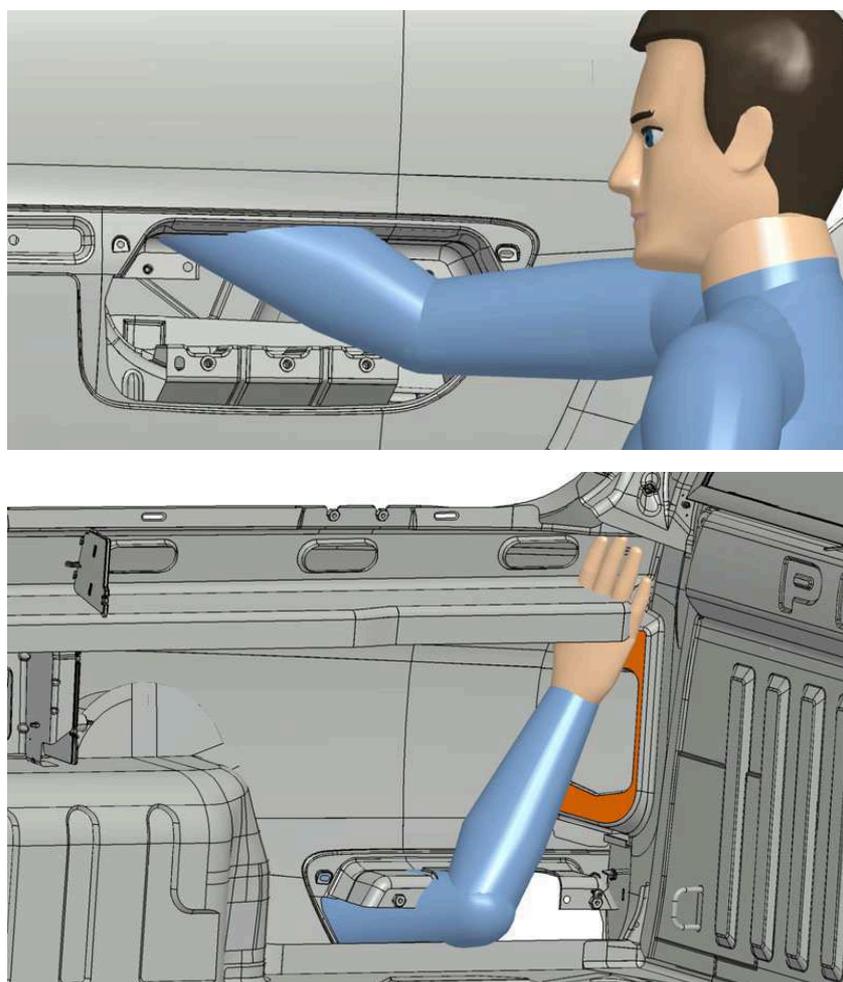


Figura 24 – Imagens selecionadas durante o *Ring Digital* no caso da montagem do extrator de ar

Após reportar o problema ao *Set-Based Concurrent Engineering*, uma nova concepção é apresentada e uma nova sessão de *Ring Digital* é realizada. Até obter a solução ideal, realizam-se diversas sessões ou “repasses de engenharia”. Neste caso foram realizados 2 repasses até obter a solução ideal (Figura 25).

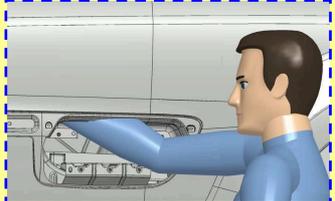
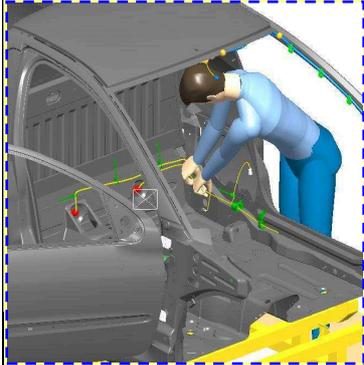


Figura 25 – Imagem da solução final, após o último repasse de engenharia, durante o *Ring Digital* no caso da montagem do extrator de ar.

É demonstrado pelos quadros abaixo, o histórico dos relatos nas passagens em *Ring Digital*, para o caso da montagem do extrator de ar, conforme Quadros 17 e 18.

As várias passagens em *Ring Digital* respeitam a metodologia PDCA e a formatação de negociação fundamentada nos pilares CPQP.

Quadro 17 – Síntese da 1ª passagem em *Ring Digital* – caso « Extrator de ar »

Engenharia de Manufatura	RING DIGITAL		
Peça ou função veículo : Extrator de ar LD/LE			
Ambiente atual	Itens de análise	nota	Problemas / Post-It®
	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)	NOK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Impossível a passagem do braço pela abertura ; ✓ Montagem cega .
	ECM	0,0	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nota ZERO, motivado pela impossibilidade de acessar a posição de montagem.
	FMEA	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sem recomendações, pois se trata de carry-over do extrator de ar.
Ambiente proposto	Itens de análise	nota	Soluções / Comentários
	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Posicionar o extrator de ar pela parte interna do veículo.
	ECM	10,89	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aprovado, com ressalvas penalizantes.
	FMEA	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sem recomendações, pois se trata de carry-over do extrator de ar.

Quadro 18 – Síntese da 2ª passagem em *Ring Digital* – caso « Extrator de ar »

Engenharia de Manufatura	RING DIGITAL		
Peça ou função veículo : Extrator de ar LD/LE			
<p>Ambiente atual</p> 	Itens de análise	nota	Soluções / Comentários
	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)	OK	✓ Posicionar o extrator de ar pela parte interna do veículo.
	ECM	10,89	✓ Aprovado, com ressalvas penalizantes.
FMEA	OK	✓ Sem recomendações, pois se trata de carry-over do extrator de ar.	
<p>Ambiente proposto</p>  	Itens de análise	nota	Soluções / Comentários
	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)	OK	✓ Criação de uma janela de acesso pela parte interna da carroceria, idêntica a montagem das lanternas ; ✓ Melhoria da posição ergonômica, com o artifício de inclinar a carroceria em 25° para os 2 lados.
	ECM	12,35	✓ Aprovado, operação factível de reprodução ; ✓ Posição ergonômica penalizante, mesmo com investimentos no processo.
FMEA	OK	✓ Sem recomendações, pois se trata de carry-over do extrator de ar.	

Os relatos das 2 passagens em *Ring Digital* foram transmitidos à instância do *Set-Based Concurrent Engineering*, que promoveram as decisões abaixo (Quadros 19 e 20) :

Quadro 19 – Síntese da 1ª passagem em decisão *Set-Based Concurrent Engineering* – caso « Extrator de ar »

SET-BASED CONCURRENT ENGINNERING		PEÇA ou FUNÇÃO : Extrator de ar LD/LE	
SERVIÇO / PARÂMETRO		NOTA	REMARCA / VEREDITO
Manufatura	RING (ECM)	10,89	✓ Aprovado com ressalvas.
	FMEA	OK	
Síntese Veicular	PIV	NOK	✓ Reprovado, possibilidade de perda da função.
Arquitetura	Crash's and Positions	NOK	✓ Reprovado a concepção de clipagem invertida da peça.
Qualidade	Robustez do projeto	NOK	✓ Concepção reprovada.
Estilo	Subjetivo	OK	✓ Indiferente.
Repasses de engenharia =		1	

Quadro 20 – Síntese da 2ª passagem em decisão *Set-Based Concurrent Engineering* – caso « Extrator de ar »

SET-BASED CONCURRENT ENGINNERING		PEÇA ou FUNÇÃO : Extrator de ar LD/LE	
SERVIÇO / PARÂMETRO		NOTA	REMARCA / VEREDITO
Manufatura	RING (ECM)	12,35	✓ Criar um acesso na carroceria, idem montagem lanternas. ✓ Criação do dispositivo de inclinação de carrocerias
	FMEA	OK	
Síntese Veicular	PIV	OK	✓ Validado
Arquitetura	Crash's and Positions	OK	✓ Validado
Qualidade	Robustez do projeto	OK	✓ Autorizar modificações no projeto do produto e investimentos no processo
Estilo	Subjetivo	OK	✓ Aceito a proposta da Manufatura das janelas triangulares.
Repasses de engenharia =		2	

Os valores históricos sobre uma possível correção somente na fase industrial, foram fornecidos pelos Engenheiros especialistas de cada função do veículo (anexos I, J e K), quando questionados hipoteticamente ao fim da sessão, conforme relato da última passagem no Quadro 21.

Quadro 21 – Impacto informado pelo *Set-Based Concurrent Engineering* – caso « Extrator de ar »

PROBLEMA	SOLUÇÃO	TEMPO HISTÓRICO DE CORREÇÃO aparição na fase industrial	CRITICIDADE aparição na fase industrial	FREQUENCIA aparição na fase industrial
Acesso	Criação das janelas de acesso, nas laterais da carroceria.	9 meses	Alta (f=0,1)	Baixa (f=0,01)
Ergonomia	Criação de um dispositivo de inclinação de carrocerias	5 meses	Alta (f=0,1)	Médio (f=0,03)

4.3 Caso da montagem da conexão elétrica do *break-light* (caso 3).

Com a presença de todos os atores do projeto, foram realizadas as análises da conexão elétrica do *break-light*, através do *mock-up digital* projetado em telão, e as imagens manuseadas e selecionadas de acordo com os comentários, as respostas dadas durante a ECM e na preparação do FMEA de processo (Figura 26). Todos os problemas de concepção encontrados estão devidamente documentados através de *Post-It*® (anexos L e M).

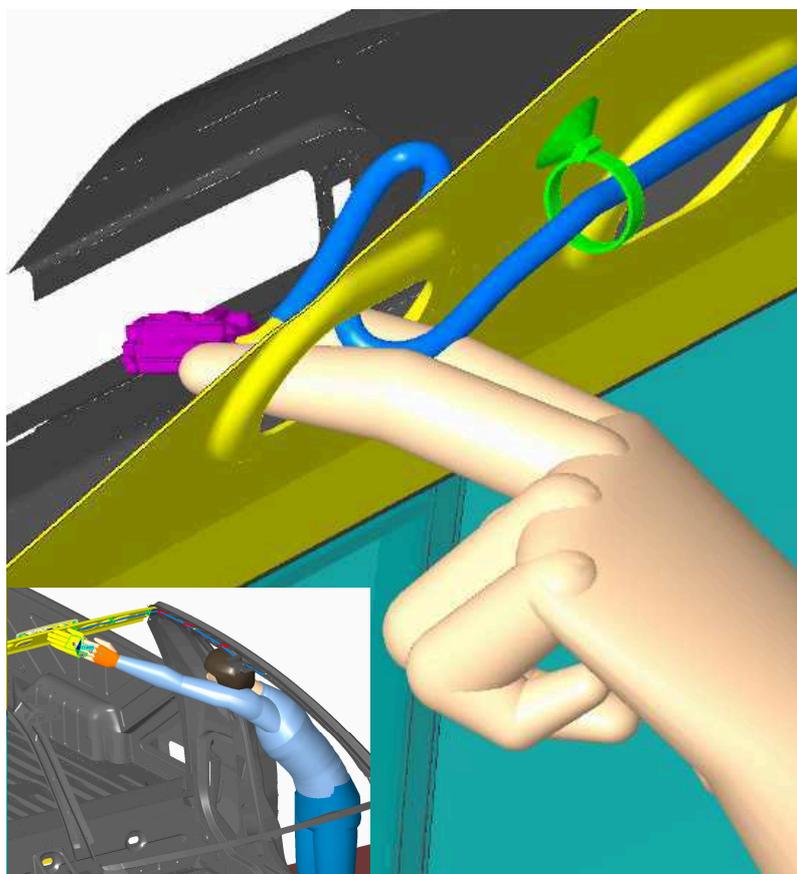


Figura 26 – Imagens selecionadas durante o *Ring Digital* no caso da conexão elétrica do *break-light*.

Após reportar o problema ao *Set-Based Concurrent Engineering*, uma nova concepção é apresentada e uma nova sessão de *Ring Digital* é realizada. Até obter a solução ideal, realizam-se diversas sessões ou “repases de engenharia”. Neste caso foi realizado somente 1 repasse para obter a solução ideal (Figura 27).

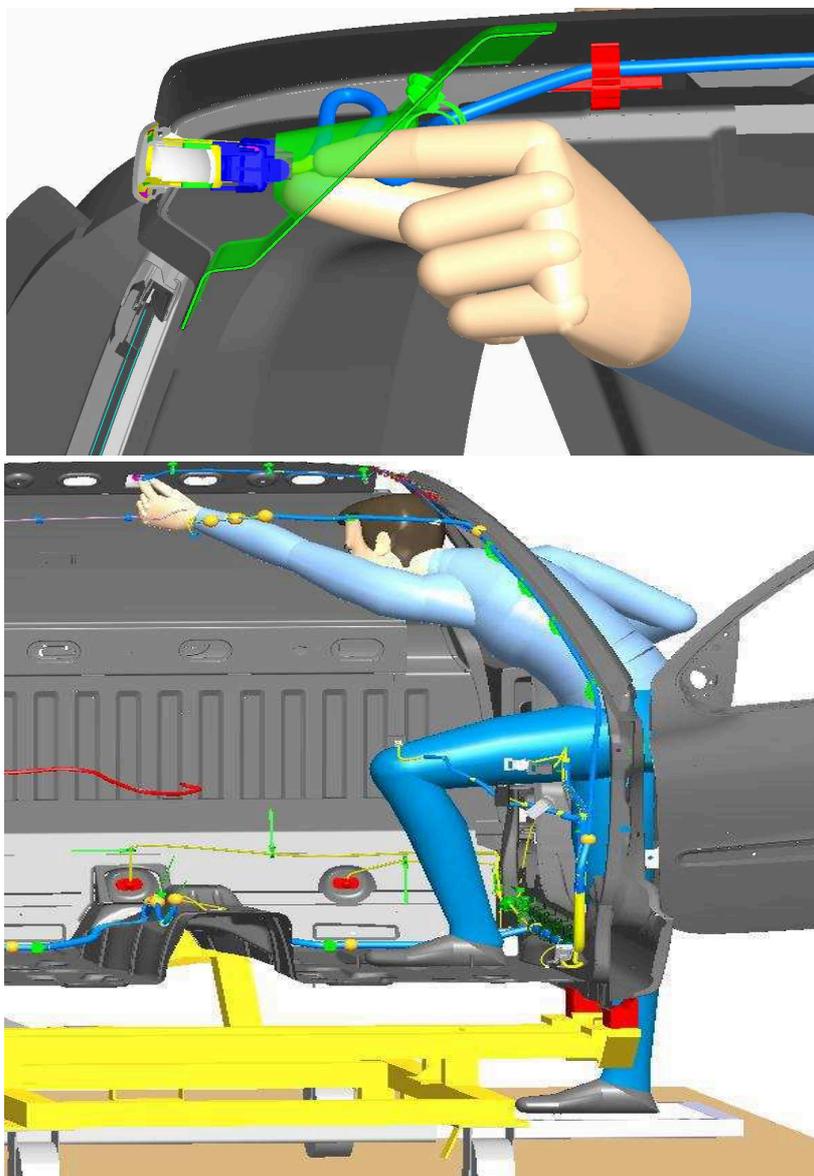
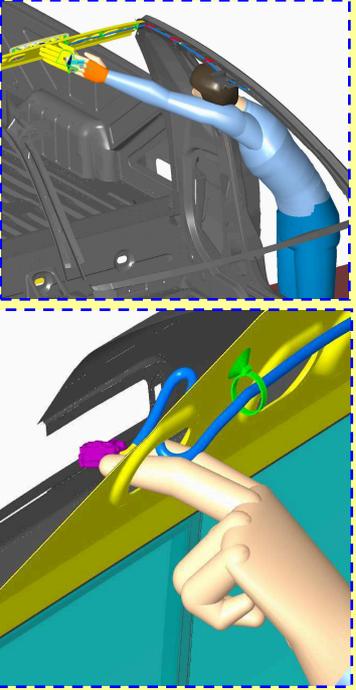
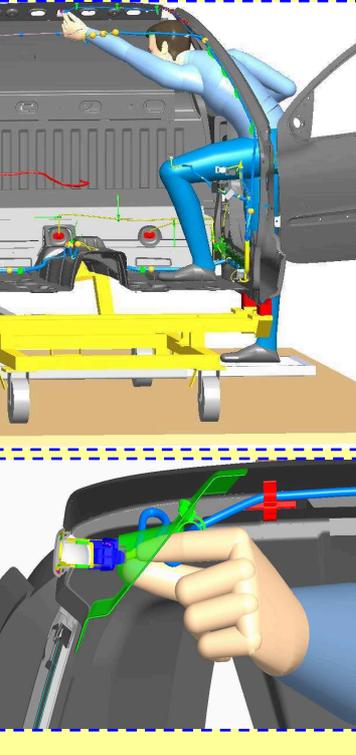


Figura 27 – Imagens da solução final, após o último repasse de engenharia, durante o *Ring Digital* no caso da conexão elétrica do *break-light*.

É demonstrado pelo quadro abaixo, o histórico dos relatos nas passagens em *Ring Digital*, para o caso da conexão do *break-light*, conforme Quadro 22.

A passagem em *Ring Digital* respeita a metodologia PDCA e a formatação de negociação fundamentada nos pilares CPQP.

Quadro 22 – Síntese da passagem em *Ring Digital* – caso « *Break-light* »

Engenharia de Manufatura	RING DIGITAL		
Peça ou função veículo : <i>Conexão elétrica do Break-light</i>			
<p data-bbox="188 389 384 421">Ambiente atual</p> 	Itens de análise	nota	Problemas / Post-It®
	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)	NOK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Impossível alcançar posição de montagem, estando ao lado da porta e fora do veículo ; ✓ Conexão do chicote impreciso, pela profundidade e falta de acesso à mão.
	ECM	6,22	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Falta de acesso, com risco potencial de má conexão ; ✓ Condição ergonômica penalizante.
	FMEA	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sem recomendações, pois se trata de carry-over do break-light.
<p data-bbox="188 1137 437 1169">Ambiente proposto</p> 	Itens de análise	nota	Soluções / Comentários
	Visão Manufaturabilidade (acesso, ergonomia, montabilidade)	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Criação de um convite estampado na carroceria, para autonomação do processo; ✓ Melhoria da posição ergonômica, com a criação de degrau nos carrinhos, para entrar com uma perna no habitáculo do veículo.
	ECM	12,07	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aprovado, operação factível de reprodução ; ✓ Posição ergonômica penalizante, mesmo com investimentos no processo.
	FMEA	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sem recomendações, pois se trata de carry-over do break-light.

Os relatos da única passagem em *Ring Digital* foram transmitidos à instância do *Set-Based Concurrent Engineering*, que promoveram a decisão abaixo (Quadro 23) :

Quadro 23 – Síntese da passagem em decisão *Set-Based Concurrent Engineering* – caso « *Break-light* ».

SET-BASED CONCURRENT ENGINEERING		PEÇA ou FUNÇÃO : <i>Conexão ELE do Break-light</i>	
SERVIÇO / PARÂMETRO		NOTA	REMARCA / VEREDITO
Manufatura	RING (ECM)	12,07	✓ Criar um convite estampado na carroceria
	FMEA	OK	✓ Alteração de 70 carrinhos para inclusão dos degraus
Síntese Veicular	PIV	OK	✓ Validado
Arquitetura	Crash's and Positions	OK	✓ Validado
Qualidade	Robustez do projeto	OK	✓ Autorizar modificações no projeto do produto e investimentos no processo
Estilo	Subjetivo	OK	✓ Sem impacto.
Repasses de engenharia =		1	

Os valores históricos sobre uma possível correção somente na fase industrial, foram fornecidos pelos Engenheiros especialistas de cada função do veículo (anexos N e O), quando questionados hipoteticamente ao fim da sessão, conforme relato da única passagem no Quadro 24.

Quadro 24 – Impacto informado pelo *Set-Based Concurrent Engineering* – caso « *Break-light* »

PROBLEMA	SOLUÇÃO	TEMPO HISTÓRICO DE CORREÇÃO aparição na fase industrial	CRITICIDADE aparição na fase industrial	FREQUENCIA aparição na fase industrial
Acesso	Criação de convite estampado na travessa do teto na carroceria	6 meses	Alta (f=0,1)	Baixa (f=0,01)
Ergonomia	Inclusão de degraus nos 70 carrinhos de transporte de carrocerias	6 meses	Alta (f=0,1)	Médio (f=0,03)

4.4 Restituição dos resultados

Utilizando uma restituição das informações coletadas nos casos estudados, obtem-se uma síntese dos possíveis impactos na fase de industrialização sobre o programa do novo veículo, caso hipoteticamente não fossem corrigidos pelo *Ring Digital*, conforme Quadro 25:

Quadro 25 – Síntese dos impactos informados pelo *Set-Based Concurrent Engineering*

PROBLEMA	SOLUÇÃO	TEMPO HISTÓRICO DE CORREÇÃO aparição na fase industrial	CRITICIDADE aparição na fase industrial	FREQUENCIA aparição na fase industrial
P1 - Acesso	Aumentar as janelas de acesso, nas laterais da carroceria.	6 meses	Alta (f=0,1)	Médio (f=0,03)
P2 - Acesso Ergonomia	Criação das janelas de acesso, nas laterais da carroceria.	9 meses	Alta (f=0,1)	Baixa (f=0,01)
	Criação de um dispositivo de inclinação de carrocerias	5 meses	Alta (f=0,1)	Médio (f=0,03)
P3 - Acesso Ergonomia	Criação de convite estampado na travessa do teto na carroceria	6 meses	Alta (f=0,1)	Baixa (f=0,01)
	Inclusão de degraus nos 70 carrinhos de transporte de carrocerias	6 meses	Alta (f=0,1)	Médio (f=0,03)

Aplicando o modelo matemático previamente definido, pode-se calcular a projeção do impacto da resolução dos problemas ainda na fase de concepção, para o *lead-time* de um programa de um novo veículo :

$$PI_{ip} = \frac{[(t_{sp1} \times f_{cr1} \times f_{fq1}) + (t_{sp2} \times f_{cr2} \times f_{fq2}) + (t_{sp3} \times f_{cr3} \times f_{fq3})] \times Q_{pip}}{TT_p} + (g_{re1} \times g_{re2} \times g_{re3})$$

$$PI_{ip} = \frac{[(6 \times 0,10 \times 0,03) + (9 \times 0,10 \times 0,01) + (6 \times 0,10 \times 0,03)] \times 64}{52} + (0,50 \times 0,75 \times 0,25)$$

$$PI_{ip} = 0,149$$

Traduzindo o resultado, foi identificado a partir dos 3 casos estudados, uma projeção de redução em **15% do tempo total de desenvolvimento de um programa para um novo veículo – “time to market”**, e uma projeção de redução em 50% da quantidade de repasses de engenharia; somente aplicando os métodos do *RING DIGITAL* e as ferramentas do *MOCK-UP DIGITAL*, com o não aparecimento dos problemas na fase industrial e com as resoluções dos problemas ainda na fase de concepção.

Em seguida, aplicando o modelo matemático previamente definido, pode-se calcular de forma indireta o ganho financeiro total no programa, a partir dos ganhos de tempo total de desenvolvimento de um programa.

Neste caso, utilizam-se taxas específicas de custo da empresa estudada :

- ✓ Taxa Standard do custo homem – Engenharias (TX_{std}) = 4.000 € / homem-mês
- ✓ Quantidade de homens envolvidos no projeto estudado (Q_{hep}) = 53

$$PI_{fp} = (PI_{ip} \times TT_p) \times TX_{std} \times Q_{hep}$$

$$PI_{fp} = (0,149 \times 52) \times 4000 \times 53$$

$$PI_{fp} = 1642576$$

Traduzindo o resultado, foi identificado a partir dos 3 casos estudados, uma projeção de ganho financeiro com uma redução em **1,64 M€ nos gastos totais do programa do novo veículo estudado.**

Espera-se uma resposta favorável em termos de retorno sobre o investimento, em função desta redução de tempo e dos menores custos envolvidos, além de um aumento no grau de confiança em relação ao sucesso do produto em fases preliminares do projeto.

A reflexão sobre esta prática demonstra que as reduções de repasses de engenharia e a minimização de casos pontuais com tempo de correção alto e complexo, criam uma organização estável e de sucesso para programas de novos veículos.

As estimativas sobre a fase de industrialização do programa, com reduções de *mock-up's* físicos e de quantidades de veículos pré-séries, se traduzem por excelentes ganhos financeiros ao programa.

A partir dos estudos realizados, estima-se como ganhos secundários, principalmente na fase de industrialização :

- ✓ Uma redução de casos de parada no desenvolvimento do programa, motivados por casos pontuais de problemas com tempo de correção alto e complexo;
- ✓ A criação de operações de baixo tempo de execução e com condições ergonômicas melhoradas, pois são previamente conhecidos e otimizadas durante os *Rings Digitais*;
- ✓ Uma redução drástica da necessidade de *mock-up's* físicos, na quantidade de veículos a fabricar na fase de pré-séries.

5. DISCUSSÕES

Em conformidade com as avaliações esperadas para esta pesquisa, foram identificadas as reduções de retrabalhos no projeto do produto, e por consequência uma redução do *lead-time* total do programa. Podemos afirmar também, que os ganhos de performance do produto no chão-de-fábrica esperados são resultado das otimizações realizadas durante as sessões de *Rings Digitais* e da utilização das ferramentas de *Mock-up's digitais*.

Utilizando uma abordagem quantitativa, foi possível avaliar os resultados esperados, a partir de 3 casos estudados durante um programa de desenvolvimento de um novo veículo, conforme síntese abaixo (Quadro 26).

Quadro 26 – Síntese dos resultados da pesquisa.

Projeção de redução no tempo total de desenvolvimento do programa	15%
Projeção de ganhos financeiros no desenvolvimento do programa	1,64 M€

A participação como membro da equipe do programa do novo veículo estudado, além das participações “*on time*” em todas as sessões de *Ring Digital* e nas sessões do *Set-Based Concurrent Enginnering*, foram de extrema importância para a obtenção de todas as rotinas, detalhes, dados e números que fizeram parte do desenvolvimento dos 3 casos estudados.

A conquista da participação espontânea de todos os Engenheiros e Especialistas que integravam a equipe do programa do novo veículo, proporcionaram um alto grau de precisão dos valores adotados na pesquisa, como também um rico detalhamento da metodologia estudada e dos fluxos de informação intra-projeto.

Os estudos dos 3 casos duraram 34 semanas, embutidos dentro do tempo total de desenvolvimento do programa do novo veículo, e utilizados para a aprovação da concepção do produto em todos os quesitos fundamentados no *Lean Product Development Process*, do ciclo PDCA e dos rituais e planejamentos internos do programa (Quadro 27).

A nomeação de um “Patrocinador” indicado pela empresa estudada, foi o segundo ponto de importância no bom desenvolvimento desta pesquisa, atuando como referência dos fundamentos *Lean Product Development Process*, como facilitador para a obtenção de informações, recursos materiais e “livre acesso” aos rituais do programa; e como validador das informações liberadas à pesquisa, controlando o que é confidencial ou estratégico pela empresa estudada.

A definição dos 3 casos estudados (lanterna traseira, extrator de ar e *break-light*) foi resultado desta análise de controle de confidencialidade, além dos limites de informação sobre as soluções adotadas e suas obtenções.

As informações coletadas fazem parte do desenvolvimento do capítulo Resultados desta pesquisa e também estão disponíveis nos documentos anexos.

As sessões de *Ring Digital* e do *Set-Based Concurrent Engineering* ocorriam semanalmente e em dias diferentes para promover a participação de todos, com agendamento dos itens em pauta planejados previamente pelo Engenheiro-Chefe.

Os membros destas sessões eram multidisciplinares, para alcançar todas as formas de observação da análise, com funcionamento *HOSHIN* (em japonês = trabalho em canteiros) e gerenciamento visual das atividades, prazos e responsáveis pela ação corretiva.

Para esta pesquisa, foram 6 sessões de *Ring Digital* e 6 sessões de *SBCE*, além de 340 horas de análises virtuais realizadas pelos Engenheiros de Manufatura.

Os *Mock-up's Digitais* são a grande ferramenta de validação da co-concepção Produto x Processo, e a forma mais concreta e confiável para validação em consenso, entre todos os membros do *Ring Digital*, sobre a manufaturabilidade do produto em análise.

O treinamento dos profissionais da Engenharia de Manufatura ou Processos de Produção sobre a construção e análise de elementos virtuais, e a calibração destes mesmos sobre a sua validação, é de longa duração (4 anos em média) e tem como pré-requisitos para ocupar esta função uma experiência em Manufatura Automobilística de no mínimo 5 anos. Este ponto é de alta importância para o bom funcionamento e credibilidade do *Ring Digital*.

6. CONCLUSÕES

Através dos casos estudados, foi demonstrada a eficácia da ferramenta do *Mock-up Digital* para a identificação de inviabilidades para a manufatura; como também para construir propostas de reconcepção do produto, que sejam viáveis, otimizadas e “simples” de fabricar, conforme orientações do *Lean Manufacturing Engineering*.

Portanto, pode-se concluir que as ferramentas e práticas do *Lean Product Development Process* é interligado e contribui para o sucesso de um sistema de fabricação fundamentada no *Lean Manufacturing*.

Pelos experimentos realizados nesta pesquisa, dados e informações obtidas indicam que as análises de manufaturabilidade através de *mock-up's digitais*, podem contribuir com ganhos de aproximadamente 15% no *lead-time* de desenvolvimento de um programa de um novo veículo – “*time to market*”.

Ainda pelos mesmos experimentos, foi demonstrado que pela aplicação das práticas, foi possível uma redução em 50% de retrabalhos previstos no projeto do produto ou “repasses de Engenharia”.

Complementando a análise, foi possível projetar um ganho financeiro no programa do novo veículo estudado, através dos ganhos no *lead-time* de desenvolvimento, com uma redução na ordem de 1,64M€ nos gastos totais do programa.

Como reflexão sobre os resultados, temos que as análises de manufaturabilidade, aplicadas ainda na fase embrionária do desenvolvimento do produto, em uma organização fundamentada na filosofia *Lean*, contribuem eficazmente em um programa para novos veículos na indústria automobilística.

A conclusão reforça que para atingir ciclos completos de projetos ou programas, em períodos cada vez menores; protótipos e testes físicos devem ser minimizados no seu uso, limitados à validação final do produto. Todo o desenvolvimento deve ocorrer de forma virtual, com a participação efetiva de todas as áreas, de forma organizada e simultânea.

Obter ciclos de projetos ou programas em períodos menores, porém com garantias cada vez maiores de qualidade e credibilidade das concepções dos produtos, são as premissas fundamentais do *Lean Product Development Process*.

Como estas ferramentas e o próprio fundamento do *Lean Product Development Process* é pouco difundido na literatura ocidental para desenvolvimento de produtos, é de grande importância à continuidade das pesquisas.

Como prosseguimento, propõe-se como pesquisas futuras as seguintes abordagens :

- ✓ Ganhos em redução de *mock-up's* físicos ou veículos pré-séries;
- ✓ Comprovação dos ganhos na fase industrial;
- ✓ Formação de Engenheiros de Manufatura Virtual;
- ✓ Comparação de performance no chão-de-fábrica, para processos concebidos na forma tradicional em relação a processos concebidos virtualmente na fase de concepção do produto;
- ✓ Posicionamento das realizações dos *Rings Digitais* dentro do planejamento de um programa de um novo veículo.

Esta pesquisa tem como contribuição acadêmica, a tentativa de :

- ✓ Contribuir com a disseminação do conhecimento da Engenharia Virtual ainda na universidade;
- ✓ Promover junto as instituições universitárias a inclusão da Engenharia Virtual e as ferramentas básicas do *LEAN* na grade curricular;
- ✓ Motivar os jovens Engenheiros a capacitar-se na Engenharia Virtual e nas metodologias de aplicação de suas ferramentas dentro de um projeto.

REFERÊNCIAS

Baldwin, C.Y. ; Clark, K.B. - **Design Rules, Volume 1**. The MIT Press, Cambridge, MA, 2000.

Bokulich, F. - Automakers going digital. **Automotive Engineering Industry**, Nov 2003.

Campbell, N. C. - Customer analysis for strategy development in industrial markets. **Strategic Management Journal**, John Wiley & Sons, Inc, 1998.

Chappell, L. - Toyota's Blue Sky Approach Changes Way Cars Are Made. **Automotive News**, 2002.

Clark, K.B. ; Fujimoto, T. - Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry. **Harvard Business School Press**, Boston, MA, 1991.

Cusumano, M. A. ; Nobeoka, K. - Thinking Beyond Lean. **The Free Press**, New York, NY, 1998.

Dubensky, R. - **Automotive Product Development**. Mechanical Design & Analysis Institute Inc, 2001.

Dyer, J. H. ; Nobeoka, K. - Creating and Managing a High Performance Knowledge-Sharing Network: The Toyota Case. **Strategic Management Journal**, 1998.

Fischler, E. - **A aplicação de simulação no processo de desenvolvimento de produtos na indústria automobilística**. São Paulo, Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

Fleischer, M. ; Liker, J. K. - **Concurrent Engineering Effectiveness: Integrating Product Development Across Organizations.** Hanser Gardner Publications, Cincinnati, OH, 1997.

Grote, P. ; Sharp, M. - **Defining the Vehicle Development Process.** Feb 2001.

Haddad, C. J. - Operationalizing the Concept of Concurrent Engineering: A Case Study from the U.S. Auto Industry. **IEEE Transactions on Engineering Management**, 1996.

Harbour and Associates, Inc. - **The Harbour Report 2007**, Harbour and Associates Inc., Troy, MI, 2008.

Harbour and Associates, Inc. - **The Harbour Report 2006**, Harbour and Associates Inc., Troy, MI, 2007.

Hammett, P. C. ; Wahl, S. M. ; Baron, J. S. - **Using Flexible Criteria to Improve Manufacturing Validation During Product Development**, Concurrent Engineering: Research and Applications, 1999.

Kaminski, P. - New product development: using the salesforce to identify opportunities. **Journal of Business & Industrial Marketing**, 2000.

Kennedy, M. - **Lean Product & Process Development How is the Implementation going?** Targeted Convergence Corporation, 2007.

Liker, J. K. ; Ettl, J. E. ; Campbell, J. C. - Engineered in Japan. **Oxford University Press**, New York, NY, 1995.

Liker, J. K. - Becoming Lean: Experience of U.S. Manufacturers. **Productivity Press**, Portland, OR, 1997.

Loch, C. H. ; Tenviesch, C. - Accelerating the Process of Engineering Change Orders: Capacity and Congestion Effects. **Journal of Product Innovation Management**, 1999.

Milburn, T. J. - The New Product Development Paradigm Led by Simulation and Testing. **SAE Commercial Vehicle Engineering Congress and Exhibition**, Chicago, Illinois, 2004.

Morgan, J. M. - **High Performance Product Development: A Systems Approach to a Lean Product Development Process**. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of Philosophy (Industrial and Operations Engineering) in The University of Michigan 2002.

Nevins, J. L. ; Whitney, D. E. - **Concurrent Design of Products and Processes**. McGraw-Hill Publishing Co., New York, NY, 1989.

Pugh, S. - **Creating Innovative Products Using Total Design**. Addison-Wesley Publishing Company, 1996.

Reinertsen, D. G. - Managing the Design Factory. **The Free Press**, New York, NY, 1997.

Rohde, S. - **Streamlining Product Lifecycle Processes: A Survey of Product Lifecycle Management Implementations, Directions, and Challenges**. Quantum Signal, LLC, 2002.

Smith, P. G. ; Reinertsen, D. G. - **Developing Products in Half the Time**. John Wiley & Sons, New York, NY, 1998.

Sobek, K. ; Liker, J. K. ; Ward, A. C. - Another Look at How Toyota Integrates Product Development. **Harvard Business Review**, 1998.

Triola, M. F. - **Elementary Statistics**. Addison-Wesley, 2008.

Turtle, Q. C. - **Implementing Concurrent Project Management**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994.

Ulrich, K. T. ; Eppinger, S. D. - **Product Design and Development**. McGraw-Hill Publishing Co., New York, NY, 1995.

Ward, A. C. ; Seering, W. P. - The Performance of a Mechanical Design Compiler. **International Conference for Engineering Design**, London; 1989.

Ward, A. C. ; Liker, J. K. ; Cristiano, J. J. ; Sobek, D. K. - The Second Toyota Paradox: How Delaying Decisions can make Better Cars Faster. **Sloan Management Review**, 1995a.

Ward, A. C. ; Sobek, D. K. ; Cristiano, J. J. ; Liker, J. K. - Toyota, Concurrent Engineering, and Set-Based Design. **Oxford Press**, New York; 1995b.

Wheelwright, S. C. ; Clark, K. B. - Revolutionizing Product Development. **The Free Press**, NY, 1992.

Womack, J. P. ; Jones, D. T. ; Roos, D. - **The Machine That Changed the World**. MacMillan Press, NY, 1990.

Womack, J. P. ; Jones, D. T. - **Lean Thinking**. Simon and Schuster, New York, NY, 1996.

Xu, H. - Concept and Concurrent Analysis and Optimization in a Product Design and Development Process. **SAE International Truck & Bus Meeting & Exposition**, Indianápolis, Indiana, 1998.

Zwaanenburg, K. - Integration of Physical and Virtual Prototypes. **SAE World Congress**, Detroit, Michigan, 2002.

Zorriassatine, F. ; Wykes, C. ; Parkin, R. ; Gindy, N. - **A Survey of Virtual Prototyping Techniques for Mechanical Product Development**. 2003.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS

Adler, P. S. - Time-and-Motion Regained. **Harvard Business Review**, 1993.

Adler, P. S. ; Mandelbaum, A. ; Nguyen, V. ; Schwerer, E. - Getting the Most out of Your Product Development Process. **Harvard Business Review**, 1996.

Andrews, D. C. ; Stalick, S. K. - **Street Smarts for Business Reengineers – 1st. edition**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994.

Argyris, C. - Teaching Smart People How to Learn. **Harvard Business Review on Knowledge Management**, Harvard Business School Press, Boston, MA; 1998.

Cusumano, M. A. - The Limits of Lean. **Sloan Management Review**, 1994.

Imai, M. - **Gemba Kaizen**. McGraw-Hill, New York, NY, 1997.

J.D. Power and Associates - J.D. Power 2007 Initial Quality Study. **Press Release, J.D. Power and Associates**, Westlake Village, CA, 2008.

Liker, J. K. ; Collins, P. D. ; Hull, F. M. - Flexibility and Standardization: Test of a Contingency Model of Product Design – Manufacturing Integration. **Journal of Product Innovation Management**, 1999.

Nadler, D. ; Tushman, M. L. - Competing By Design. **Oxford University Press**, New York, NY, 1997.

Nobeoka, K. ; Cusumano, M. A. - Multiproject Strategy, Design Transfer and Project Performance: A Survey of Automobile Development Projects in the US and Japan. **IEEE Transactions on Engineering Management**, 1995.

Ryan, R. R. - **Digital Testing in the Context of Digital Engineering, Functional Virtual Prototyping**. 2001.

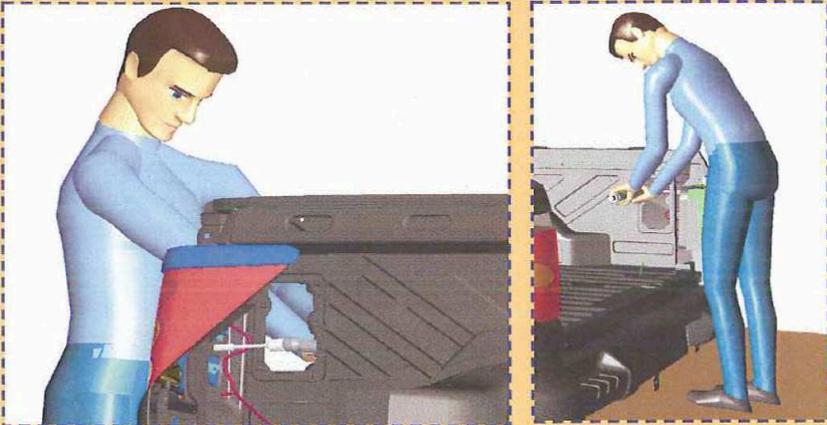
Shook, J. ; Rother, M. - **Learning to See**. The Lean Enterprise Institute, BrooMine, MA, 1998.

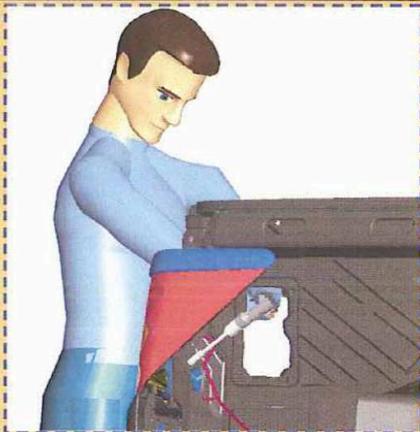
Taylor, J. C. ; Felten, D. F. - **Performance By Design**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.

Whitney, J. P. ; Jones, D. T. - From Lean Production to the Lean Enterprise. **Harvard Business Review**, 1994.

ANEXOS A e B

POST-IT's EMITIDOS PARA O CASO DA LANTERNA TRASEIRA

Post-It®		RING DIGITAL	
Programa : 		<input checked="" type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PRODUTO	<input type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PROCESSO
Data : 23/07/2009	Emitido por : M. Bastos	Tecnologia - Imputação : Externos	
Descrição do problema : Falta de acesso para fixação das lanternas traseiras.			
Imagem do problema : 			
Analisado por : G. Candido	Data : 24/7/09	Tecnologia : Ext.	Data aplicação da solução : 10/8
Descrição da solução : Alterar posição da fixação, para livrar o acesso à parafusadeira.			
Follow-up realizado por : F. SILVA	Data : 30/07/09	Eficácia : <u>OK</u>	Fechado em : 30/07/09.

Post-It®		RING DIGITAL	
Programa : 		<input checked="" type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PRODUTO	<input type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PROCESSO
Data : 20/08/2009	Emitido por : M. Bastos	Tecnologia - Imputação :	Externos
Descrição do problema : Potencial problema para o resultado da fixação - sentido diferente do assentamento da peça.			
Imagem do problema :			
Analisado por : G.Candido	Data : 21/8/09	Tecnologia : Ext.	Data aplicação da solução : 10/9
Descrição da solução : Aumentar a janela de acesso na carroceria.			
Follow-up realizado por : F. SILVA	Data : 24/8	Eficácia : <u>OK!</u>	Fechado em : 27/8/09

ANEXOS C, D e E

QUESTIONÁRIOS SBCE EMITIDOS PARA O CASO DA LANTERNA TRASEIRA

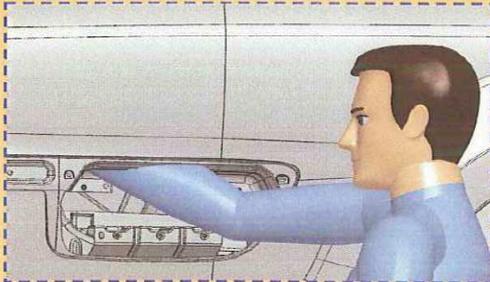
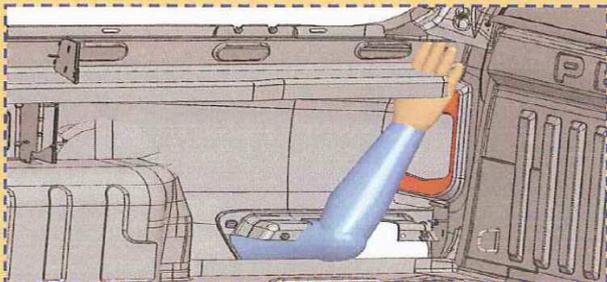
QUESTIONÁRIO SBCE	
APRESENTAÇÃO	PEÇA / FUNÇÃO : Lanterna traseira
	PROBLEMA IDENTIFICADO : Falta acesso para fixação
	REPASSE DE ENGENHARIA : 1
	SOLUÇÃO PROPOSTA : Alterar a fixação da lanterna
ESTIMATIVA	<p>QUESTÃO HIPOTÉTICA – “Qual o impacto da correção deste problema caso sua identificação ocorresse somente na fase industrial ?”</p> <p>Modificação do projeto no fornecedor, alteração de ferramental de injeção e de montagem no fornecedor.</p>
	<p>TEMPO HISTÓRICO DE CORREÇÃO :</p> <div style="text-align: center; border: 1px solid black; width: 100px; margin: 0 auto; padding: 5px;">18</div> meses <input type="checkbox"/> Com base em um caso idêntico (ATENÇÃO COM A APRENDIZAGEM) <input type="checkbox"/> Analogia com um caso semelhante <input checked="" type="checkbox"/> Estimativa apoiada no Know-how dos especialistas
PROJEÇÃO	<p>FATORES DE CORREÇÃO DO TEMPO HISTÓRICO :</p> <p>→ CRITICIDADE (nível de falhas da solução)</p> <input type="checkbox"/> BAIXA (0-2%) <input type="checkbox"/> MÉDIA (2-6%) <input checked="" type="checkbox"/> ALTA (6-10%) <p>→ FREQUENCIA (nível de aparição do problema)</p> <input type="checkbox"/> BAIXA (0-1%) <input checked="" type="checkbox"/> MÉDIA (1-3%) <input type="checkbox"/> ALTA (3-5%)

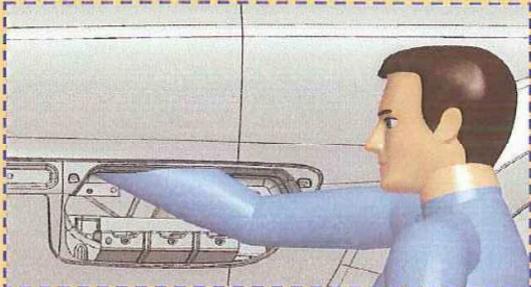
QUESTIONÁRIO SBCE	
APRESENTAÇÃO	PEÇA / FUNÇÃO : Lanterna traseira
	PROBLEMA IDENTIFICADO : Falta acesso para fixação
	REPASSE DE ENGENHARIA : 2
	SOLUÇÃO PROPOSTA : Aumentar janela de acesso na carroceria
ESTIMATIVA	QUESTÃO HIPOTÉTICA – “Qual o impacto da correção deste problema caso sua identificação ocorresse somente na fase industrial ?” Cálculo estrutural, modificação do projeto no fornecedor, alteração de ferramental de estampagem.
	TEMPO HISTÓRICO DE CORREÇÃO : <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> <input style="width: 60px; height: 25px; border: 1px solid black;" type="text" value="6"/> meses </div> <input type="checkbox"/> Com base em um caso idêntico (ATENÇÃO COM A APRENDIZAGEM) <input checked="" type="checkbox"/> Analogia com um caso semelhante <input type="checkbox"/> Estimativa apoiada no Know-how dos especialistas
PROJEÇÃO	FATORES DE CORREÇÃO DO TEMPO HISTÓRICO : → CRITICIDADE (nível de falhas da solução) <input type="checkbox"/> BAIXA (0-2%) <input type="checkbox"/> MÉDIA (2-6%) <input checked="" type="checkbox"/> ALTA (6-10%) → FREQUENCIA (nível de aparição do problema) <input type="checkbox"/> BAIXA (0-1%) <input checked="" type="checkbox"/> MÉDIA (1-3%) <input type="checkbox"/> ALTA (3-5%)

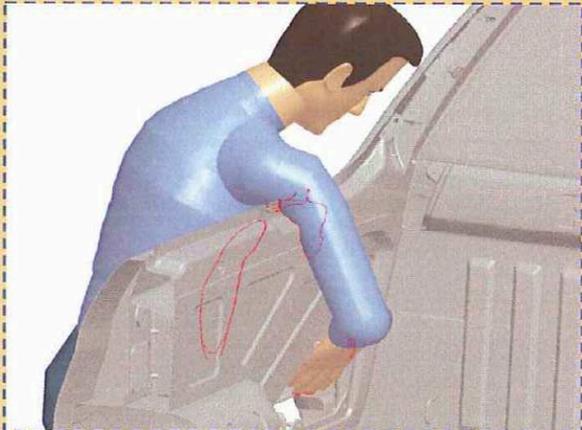
QUESTIONÁRIO SBCE	
APRESENTAÇÃO	PEÇA / FUNÇÃO : Lanterna traseira
	PROBLEMA IDENTIFICADO : Falta acesso para fixação
	REPASSE DE ENGENHARIA : 3
	SOLUÇÃO PROPOSTA : Aumentar janela de acesso na carroceria no formato triangular, conforme solicitação Marketing
ESTIMATIVA	QUESTÃO HIPOTÉTICA – “Qual o impacto da correção deste problema caso sua identificação ocorresse somente na fase industrial ?” Cálculo estrutural, modificação do projeto no fornecedor, alteração de ferramental de estampagem.
	TEMPO HISTÓRICO DE CORREÇÃO : <div style="text-align: center; border: 1px solid black; width: 100px; margin: 0 auto; padding: 5px;">6</div> meses <input type="checkbox"/> Com base em um caso idêntico (ATENÇÃO COM A APRENDIZAGEM) <input checked="" type="checkbox"/> Analogia com um caso semelhante <input type="checkbox"/> Estimativa apoiada no Know-how dos especialistas
PROJEÇÃO	FATORES DE CORREÇÃO DO TEMPO HISTÓRICO : → CRITICIDADE (nível de falhas da solução) <input type="checkbox"/> BAIXA (0-2%) <input type="checkbox"/> MÉDIA (2-6%) <input checked="" type="checkbox"/> ALTA (6-10%) → FREQUENCIA (nível de aparição do problema) <input type="checkbox"/> BAIXA (0-1%) <input checked="" type="checkbox"/> MÉDIA (1-3%) <input type="checkbox"/> ALTA (3-5%)

ANEXOS F, G e H

POST-IT's EMITIDOS PARA O CASO DO EXTRATOR DE AR

Post-It®		RING DIGITAL	
Programa : 		<input checked="" type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PRODUTO	<input type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PROCESSO
Data : 06/08/2009	Emitido por : J. Aurélio	Tecnologia - Imputação :	Internos
Descrição do problema : Falta de acesso para montagem do extrator de ar.			
Imagem do problema :			
			
Analisado por : Leonardo	Data : 07/08/2009	Tecnologia : Int.	Data aplicação da solução : 15/08/2009
Descrição da solução : Posicionar a função de extração de ar dentro do habitáculo.			
Follow-up realizado por : F. SILVA	Data : 10/08/09	Eficácia : <u>NOK</u> RETROVIADO PIV	Fechado em : <u>REABRIR!</u>

Post-It®		RING DIGITAL	
Programa : 		<input checked="" type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PRODUTO	<input type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PROCESSO
Data : 03/09/2009	Emitido por : J. Aurélio	Tecnologia - Imputação : Internos	
Descrição do problema : REABERTURA - Falta de acesso para montagem do extrator de ar.			
Imagem do problema :			
			
Analisado por : Leonardo	Data : 07/09/2009	Tecnologia : Int.	Data aplicação da solução : 20/10/2009
Descrição da solução : Criar janelas de acesso na carroceria, idem a das lanternas.			
Follow-up realizado por : F. SILVA	Data : 10/09/09	Eficácia : <u>OK!</u>	Fechado em : 10/09/09

Post-It®		RING DIGITAL	
Programa : 		<input type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PRODUTO	<input checked="" type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PROCESSO
Data : 24/09/2009	Emitido por : J. Aurélio	Tecnologia - Imputação : Montagem	
Descrição do problema : Condição ergonômica penalizante para montagem do extrator de ar - concepção janela triangular pela caçamba.			
Imagem do problema :			
Analisado por : J. Aurélio	Data : 24/09/09	Tecnologia : MON	Data aplicação da solução : Imediato
Descrição da solução : Cria um dispositivo de inclinação de carroceria. 			
Follow-up realizado por : F. SILVA	Data : 28/09/09	Eficácia : OK! ATENÇÃO BUDGET	Fechado em : 01/10/09

ANEXOS I, J e K

QUESTIONÁRIOS SBCE EMITIDOS PARA O CASO DO EXTRATOR DE AR

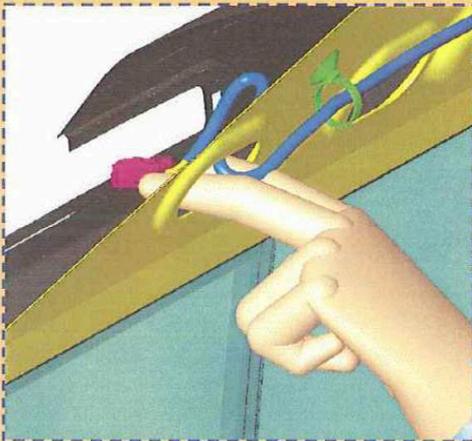
QUESTIONÁRIO SBCE	
APRESENTAÇÃO	PEÇA / FUNÇÃO : Extrator de Ar
	PROBLEMA IDENTIFICADO : Falta acesso para montagem
	REPASSE DE ENGENHARIA : 1
	SOLUÇÃO PROPOSTA : Posicionar a função de extração de ar dentro do habitáculo do veículo.
ESTIMATIVA	QUESTÃO HIPOTÉTICA – “Qual o impacto da correção deste problema caso sua identificação ocorresse somente na fase industrial ?” Cálculo funcional, cálculo estrutural, modificação do projeto no fornecedor, alteração de ferramental de estampagem e alteração do ferramental de injeção (carry-over).
	TEMPO HISTÓRICO DE CORREÇÃO : <div style="text-align: center; border: 1px solid black; width: 100px; margin: 0 auto; padding: 5px;">18</div> meses <input type="checkbox"/> Com base em um caso idêntico (ATENÇÃO COM A APRENDIZAGEM) <input type="checkbox"/> Analogia com um caso semelhante <input checked="" type="checkbox"/> Estimativa apoiada no Know-how dos especialistas
PROJEÇÃO	FATORES DE CORREÇÃO DO TEMPO HISTÓRICO : → CRITICIDADE (nível de falhas da solução) <input type="checkbox"/> BAIXA (0-2%) <input type="checkbox"/> MÉDIA (2-6%) <input checked="" type="checkbox"/> ALTA (6-10%) → FREQUENCIA (nível de aparição do problema) <input checked="" type="checkbox"/> BAIXA (0-1%) <input type="checkbox"/> MÉDIA (1-3%) <input type="checkbox"/> ALTA (3-5%)

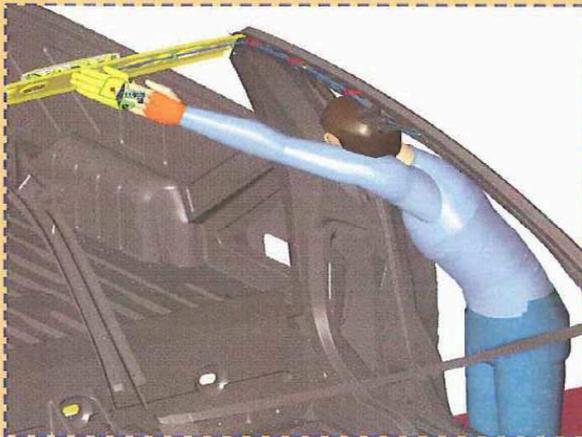
QUESTIONÁRIO SBCE	
APRESENTAÇÃO	PEÇA / FUNÇÃO : Extrator de Ar
	PROBLEMA IDENTIFICADO : Falta acesso para montagem
	REPASSE DE ENGENHARIA : 2
	SOLUÇÃO PROPOSTA : 1 - Criar janelas de acesso na carroceria, idem a das lanternas
ESTIMATIVA	QUESTÃO HIPOTÉTICA – “Qual o impacto da correção deste problema caso sua identificação ocorresse somente na fase industrial ?” Cálculo estrutural, modificação do projeto no fornecedor, alteração de ferramental de estampagem.
	TEMPO HISTÓRICO DE CORREÇÃO : <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> <input style="width: 60px; height: 25px; border: 1px solid black;" type="text" value="9"/> meses </div> <input type="checkbox"/> Com base em um caso idêntico (ATENÇÃO COM A APRENDIZAGEM) <input checked="" type="checkbox"/> Analogia com um caso semelhante <input type="checkbox"/> Estimativa apoiada no Know-how dos especialistas
PROJEÇÃO	FATORES DE CORREÇÃO DO TEMPO HISTÓRICO : → CRITICIDADE (nível de falhas da solução) <input type="checkbox"/> BAIXA (0-2%) <input type="checkbox"/> MÉDIA (2-6%) <input checked="" type="checkbox"/> ALTA (6-10%)
	→ FREQUENCIA (nível de aparição do problema) <input checked="" type="checkbox"/> BAIXA (0-1%) <input type="checkbox"/> MÉDIA (1-3%) <input type="checkbox"/> ALTA (3-5%)

QUESTIONÁRIO SBCE	
APRESENTAÇÃO	PEÇA / FUNÇÃO : Extrator de Ar
	PROBLEMA IDENTIFICADO : Falta acesso para montagem
	REPASSE DE ENGENHARIA : 2
	SOLUÇÃO PROPOSTA : 2 - Criar um dispositivo de inclinação de carrocerias
ESTIMATIVA	QUESTÃO HIPOTÉTICA – “Qual o impacto da correção deste problema caso sua identificação ocorresse somente na fase industrial ?” Projeto do equipamento, alteração de lay-out, implantação do equipamento em linha.
	TEMPO HISTÓRICO DE CORREÇÃO : <div style="text-align: center; border: 1px solid black; width: 100px; margin: 0 auto; padding: 5px;">5</div> meses <input type="checkbox"/> Com base em um caso idêntico (ATENÇÃO COM A APRENDIZAGEM) <input type="checkbox"/> Analogia com um caso semelhante <input checked="" type="checkbox"/> Estimativa apoiada no Know-how dos especialistas
PROJEÇÃO	FATORES DE CORREÇÃO DO TEMPO HISTÓRICO : → CRITICIDADE (nível de falhas da solução) <input type="checkbox"/> BAIXA (0-2%) <input type="checkbox"/> MÉDIA (2-6%) <input checked="" type="checkbox"/> ALTA (6-10%) → FREQUENCIA (nível de aparição do problema) <input type="checkbox"/> BAIXA (0-1%) <input checked="" type="checkbox"/> MÉDIA (1-3%) <input type="checkbox"/> ALTA (3-5%)

ANEXOS L e M

POST-IT's EMITIDOS PARA O CASO DA CONEXÃO DO BREAK-LIGHT

Post-It®		RING DIGITAL	
Programa : 		<input checked="" type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PRODUTO	<input type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PROCESSO
Data : 10/09/2009	Emitido por : M. Resende	Tecnologia - Imputação : Elétrica	
Descrição do problema : Dificuldade para realização da conexão elétrica do break-light			
Imagem do problema :			
Analisado por : C. Falcão	Data : 15.09.09	Tecnologia : Elétrica	Data aplicação da solução : 30.09
Descrição da solução : Criar um convite estampado na travessa do teto na carroceria.			
Follow-up realizado por : F. SILVA	Data : 15/09	Eficácia : OK!	Fechado em : 17/09/09

Post-It®		RING DIGITAL	
Programa : 		<input type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PRODUTO	<input checked="" type="checkbox"/> CONCEPÇÃO DO PROCESSO
Data : 10/09/2009	Emitido por : M. Resende	Tecnologia - Imputação : Montagem	
Descrição do problema : Condição ergonômica penalizante para conexão elétrica do break-light.			
Imagem do problema : 			
Analisado por : M. RESENDE	Data : 11/9/09	Tecnologia : MONTAGEM	Data aplicação da solução : IMEDIATO
Descrição da solução : INCLUSÃO DE DEGRAUS NOS CARRINHOS DE TRANSPORTE DE CARROCERIAS.			
Follow-up realizado por : F. SILVA	Data : 14/09/09	Eficácia : OK!	Fechado em : 17/09/09.

ANEXOS N e O

**QUESTIONÁRIOS SBCE EMITIDOS PARA O CASO DA CONEXÃO DO
BREAK-LIGHT**

QUESTIONÁRIO SBCE	
APRESENTAÇÃO	PEÇA / FUNÇÃO : Break-light
	PROBLEMA IDENTIFICADO : Dificuldade para conexão elétrica
	REPASSE DE ENGENHARIA : 1
	SOLUÇÃO PROPOSTA : 1 - Criação de convite estampado na travessa do teto na carroceria
ESTIMATIVA	QUESTÃO HIPOTÉTICA – “Qual o impacto da correção deste problema caso sua identificação ocorresse somente na fase industrial ?” Cálculo estrutural, modificação do projeto no fornecedor, alteração de ferramental de estampagem.
	TEMPO HISTÓRICO DE CORREÇÃO : <div style="text-align: center; border: 1px solid black; width: 100px; margin: 0 auto; padding: 5px;">6</div> meses <input type="checkbox"/> Com base em um caso idêntico (ATENÇÃO COM A APRENDIZAGEM) <input checked="" type="checkbox"/> Analogia com um caso semelhante <input type="checkbox"/> Estimativa apoiada no Know-how dos especialistas
PROJEÇÃO	FATORES DE CORREÇÃO DO TEMPO HISTÓRICO : → CRITICIDADE (nível de falhas da solução) <input type="checkbox"/> BAIXA (0-2%) <input type="checkbox"/> MÉDIA (2-6%) <input checked="" type="checkbox"/> ALTA (6-10%) → FREQUENCIA (nível de aparição do problema) <input checked="" type="checkbox"/> BAIXA (0-1%) <input type="checkbox"/> MÉDIA (1-3%) <input type="checkbox"/> ALTA (3-5%)

QUESTIONÁRIO SBCE	
APRESENTAÇÃO	PEÇA / FUNÇÃO : Break-light
	PROBLEMA IDENTIFICADO : Dificuldade para conexão elétrica
	REPASSE DE ENGENHARIA : 1
	SOLUÇÃO PROPOSTA : 2 - Inclusão de degrau nos carrinhos de transporte de carrocerias.
ESTIMATIVA	QUESTÃO HIPOTÉTICA – “Qual o impacto da correção deste problema caso sua identificação ocorresse somente na fase industrial ?” Projeto do equipamento, alteração de lay-out, alteração dos equipamentos em linha.
	TEMPO HISTÓRICO DE CORREÇÃO : <div style="text-align: center; border: 1px solid black; width: 100px; margin: 0 auto; padding: 5px;">6</div> meses <input type="checkbox"/> Com base em um caso idêntico (ATENÇÃO COM A APRENDIZAGEM) <input checked="" type="checkbox"/> Analogia com um caso semelhante <input type="checkbox"/> Estimativa apoiada no Know-how dos especialistas
PROJEÇÃO	FATORES DE CORREÇÃO DO TEMPO HISTÓRICO : → CRITICIDADE (nível de falhas da solução) <input type="checkbox"/> BAIXA (0-2%) <input type="checkbox"/> MÉDIA (2-6%) <input checked="" type="checkbox"/> ALTA (6-10%) → FREQUENCIA (nível de aparição do problema) <input type="checkbox"/> BAIXA (0-1%) <input checked="" type="checkbox"/> MÉDIA (1-3%) <input type="checkbox"/> ALTA (3-5%)

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor.

Fábio Rodrigues da Silva

Taubaté, fevereiro de 2011.