

EMERSON FISCHLER

A APLICAÇÃO DE SIMULAÇÃO NO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA
AUTOMOBILÍSTICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para
obtenção do Título de Mestre em
Engenharia Automotiva
(Mestrado Profissionalizante)

São Paulo

2005

EMERSON FISCHLER

A APLICAÇÃO DE SIMULAÇÃO NO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA
AUTOMOBILÍSTICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para
obtenção do Título de Mestre em
Engenharia Automotiva
(Mestrado Profissionalizante)

Orientador:

Prof. Dr. Douglas Lauria

São Paulo

2005

FICHA CATALOGRÁFICA

Fischler, Emerson

A aplicação de simulação no processo de desenvolvimento de produtos na indústria automobilística / Emerson Fischler. -- São Paulo, 2005.

66 p.

Trabalho de curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1. Desenvolvimento de produtos (Otimização) 2. Produtos novos 3. Automação industrial 4. Processos de fabricação (Protótipo; Simulação) 5. Indústria automobilística I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. II. t.

Formatado: Centralizado, Espaçamento entre linhas: simples

Formatado: Fonte: Times New Roman, Verificar ortografia e gramática

Formatado: Normal

Formatado: Centralizado, Espaçamento entre linhas: simples

RESUMO

Formatado: Título, Justificado, Recuo: À esquerda: 0,63 cm, Espaçamento entre linhas: 1,5 linha

O processo de desenvolvimento de um novo produto desempenha um papel fundamental para o sucesso de uma empresa.

Em função deste processo representar uma etapa longa e onerosa na vida de um produto, da crescente demanda do mercado em termos de inovações, qualidade e reduções no custo do produto e do aumento da concorrência neste setor, mudanças constantes se fazem necessárias.

Ao longo dos anos temos visto alterações significativas no modo com que as empresas do setor automobilístico desenvolvem novos veículos e, nas últimas décadas, estas mudanças têm se intensificado tanto em abrangência quanto em velocidade.

Este trabalho mostra como a utilização de simulação e prototipagem virtual têm revolucionado este processo de criação e validação de um novo produto em termos de reduções no tempo e custo empregados, bem como as possibilidades geradas pela utilização destes recursos no que se refere à obtenção de produtos otimizados e com um maior grau de certeza de sucesso desde as fases iniciais do desenvolvimento.

ABSTRACT

The development process of a new product plays a fundamental role in the success of a company.

Due to the long time and high costs involved in this process, the increasing demand of the consumers in terms of innovation, quality and cost reduction, and the increasing competition faced in this market, constant changes are required to adapt the companies and their processes to this evolutionary environment.

During the years we have seen significant changes in the way companies from the automotive market have developed new vehicles and these changes have intensified in terms of range and velocity over the last decades.

This job shows how the usage of simulation and virtual prototyping have revolutionized the development and validation process of a new product in terms of cost and time reductions, as well as the possibilities generated by these resources related to the creation of optimized products and the higher confidence of success in the early stages of this development.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

Excluído: ¶

Formatado: Fonte: Não Negrito

LISTA DE FIGURAS

1. INTRODUÇÃO.....1

Formatado: Recuo: À esquerda: 0 cm, Deslocamento: 0,63 cm, Espaço Antes: 12 pt, Tabulações: 0,63 cm, Tabulação de lista + Não em 1,27 cm

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....5

Formatados: Marcadores e numeração

3. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....12

Formatado: Fonte: Não Negrito

4. SIMULAÇÃO NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE VEÍCULOS.....20

Formatado: Fonte: Não Negrito

5. CUSTO DA CERTEZA.....42

Formatado: Fonte: Não Negrito

Formatado: Fonte: Não Negrito

6. PAPEL DE ENGENHEIROS, PROJETISTAS E ANALISTAS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO.....48

Formatado: Fonte: Não Negrito

7. ESTUDO DE CASO.....53

Formatado: Fonte: Não Negrito

8. CONCLUSÃO.....59

Formatado: Fonte: Não Negrito

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....63

Formatado: Espaço Antes: 12 pt

Formatado: Fonte: Não Negrito

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 –_Aplicabilidade dos Métodos CAE – <i>Computer Aided Engineering</i> – das fases do Projeto.....	40
Tabela 6.1 –_Atuais atividades dos engenheiros, projetistas e analistas em comparação às atribuições propostas para o engenheiro de projeto.....	50
Tabela 7.1 –_Dados de referência para análise comparativa entre dois projetos desenvolvidos pela General Motors do Brasil.....	54
Tabela 7.2 –_Redução de gastos por fase com a construção de protótipos entre projetos recentes realizados pela General Motors do Brasil.....	56

Formatado: Recuo: À esquerda: 0 cm, Deslocamento: 2,22 cm

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 3.1 - Processo de Desenvolvimento de Produtos normalmente seguidos pelas Empresas - Fases e Revisões. (Rosenthal, 1992).....</u>	<u>14</u>
<u>Figura 3.2 - Ciclo de Desenvolvimento “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar”.....</u>	<u>16</u>
<u>Figura 4.1 - Campo de Provas da Nissan – Arizona.....</u>	<u>22</u>
<u>Figura 4.2 - Diversa Tipos de Pistas de Provas – Campo de Provas da Ford – Arizona.....</u>	<u>23</u>
<u>Figura 4.3 - Testes para Coleta de Dados (Zwaanenburg, 2002).....</u>	<u>23</u>
<u>Figura 4.4 - Testes Simulados de Componentes em Laboratórios (Zwaanenburg, 2002).....</u>	<u>24</u>
<u>Figura 4.5 - Testes Simulados de Veículos em Laboratórios (Zwaanenburg, 2002).....</u>	<u>24</u>
<u>Figura 4.6 - Processo Tradicional de Desenvolvimento de Produto (Xu, 1998).....</u>	<u>25</u>
<u>Figura 4.7 - Processo Típico de Desenvolvimento de Produto – Década de 90 (Xu, 1998).....</u>	<u>26</u>
<u>Figura 4.8 - Aumento da Capacidade Computacional na General Motors da América do Norte (Bokulich, 2001).....</u>	<u>30</u>
<u>Figura 4.9 - Processo de Desenvolvimento de Produto através de Engenharia Simultânea com Simulação Integrada (Xu, 1998).....</u>	<u>31</u>
<u>Figura 4.10 - Processo de Desenvolvimento – Ciclo “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar” (Grote; Sharp, 2001).....</u>	<u>32</u>
<u>Figura 4.11 - Processo de Desenvolvimento – Ciclo “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar” (Rohde, 2002).....</u>	<u>33</u>
<u>Figura 4.12 - Migrando de Protótipos Físicos para Virtuais (Ryan, 2001).....</u>	<u>35</u>
<u>Figura 4.13 - Comparação entre Cronograma Conceitual de um Processo Tradicional de Desenvolvimento e de um Processo de Engenharia Simultânea (Milburn, 2004).....</u>	<u>36</u>

Formatado: Fonte: Não Negrito

Formatado: Justificado, Recuo: À esquerda: 0 cm, Deslocamento: 2,22 cm

Formatado: Fonte: Não Negrito

Formatado: Fonte: Não Negrito

Excluído: ¶

Figura 4.14 - Tendência de evolução no desenvolvimento virtual de produtos (Schelkle; Elsenhans, 2001).....37

Figura 4.15 - Realidade Virtual no Desenvolvimento de Produtos (Valério et al, 2002).....39

Figura 5.1 - Evolução da Informação Disponível, Facilidade para Mudanças e Custo para Mudanças ao longo de um Projeto (Campbell, 1998).....44

Figura 5.2 - Valores Referenciais dos Níveis de Confiança do Sucesso de um Produto ao longo do Projeto – Daimler Chrysler (Dubensky, 2001).....44

Figura 5.3 - Evolução da Quantidade de Problemas Solucionados e dos Custos Acumulados em Função do Processo de Desenvolvimento Utilizado (Milburn, 2004).....46

Figura 7.1 - Comparação entre projetos recentes realizados pela General Motors do Brasil.....54

Figura 7.2 - Redução de Despesas em Três Grandes Programas Através da Utilização de Simulação – Ford Motor Company (Campbell, 1998).....57

Figura 7.3 - Redução de Tempo na Elaboração de Desenhos com a Utilização de Prototipagem Virtual (Perini et al, 2002).....58

Figura 8.1 - Análise da Variação do Retorno sobre o Investimento em função do Processo de Desenvolvimento empregado (Milburn, 2004).....61

Formatado: Título, Recuo: A esquerda: 0 cm, Deslocamento: 2,22 cm, Espaço Antes: 0 pt, Tabulações: Não em 15,07 cm

Formatado: Fonte: Não Negrito

Formatado: Normal, A esquerda, Espaço Antes: 0 pt, Espaçamento entre linhas: simples, Tabulações: Não em 15,07 cm

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas temos presenciado alterações significativas no contexto da indústria automobilística mundial.

A intensificação da concorrência, o aumento nas expectativas e exigências dos mercados consumidores, pressões cada vez maiores por lucratividade e produtividade têm levado as indústrias automobilísticas a um ciclo de análise e re-definição de seus processos, estratégias e práticas de negócios.

Todo este novo cenário conduz à necessidade de se desenvolver veículos em prazos e custos cada vez menores, gerando produtos com níveis de qualidade, desempenho e segurança cada vez maiores, que atendam tanto a crescente demanda do mercado consumidor como aspectos legais como emissões de poluentes, desempenho em colisões entre outros.

Este processo de desenvolvimento de novos veículos sempre foi baseado na construção e teste de protótipos.

Primeiramente estes testes eram realizados em vias públicas, em condições típicas de uso. Porém, a variabilidade destes ambientes de testes em função de condições climáticas, de conservação e das diferenças entre regiões levou à busca por uma padronização na realização dos testes, com o estabelecimento de campos de provas onde condições e eventos específicos poderiam ser reproduzidos em um ambiente seguro e controlado.

Com isto passou a ser possível também se estabelecer padrões e condições de testes que poderiam ser reproduzidos em diferentes regiões, tornando viável a realização de testes semelhantes e a comparação dos resultados destes testes em diferentes locais do mundo, bem como a abrangência de diversas condições de uso.

O passo seguinte, dado durante a década de setenta, foi o estabelecimento de simulações físicas de testes em laboratórios, capazes de reproduzir através de dispositivos as solicitações encontradas em condições reais de uso, porém de forma focada e mais rápida.

Ao longo da última década presenciamos um novo e fundamental avanço no processo de desenvolvimento de veículos: a utilização de ferramentas computacionais e simulação virtual.

Estas ferramentas permitiram a criação, definição, avaliação de desempenho e validação de componentes, sistemas e até veículos inteiros em um ambiente virtual.

Veículos completos, ou protótipos virtuais, podem ser construídos e testados com relação à durabilidade, fadiga, aspectos de segurança e impacto, ruídos e vibrações entre outros e, por fim, otimizados antes da fabricação do primeiro protótipo físico.

Assim, temos notado que mais do que os avanços tecnológicos ocorridos nos veículos em si, as empresas estão sendo reestruturadas e re-projetadas para esta nova realidade do mercado.

É importante notar que estas novas tecnologias que estão sendo adotadas alteram comercial e organizacionalmente as empresas, o que provoca o desenvolvimento e a adoção de novas tecnologias a fim de alcançar as novas demandas do mercado. Deste modo vemos que, neste aspecto, as empresas do setor automobilístico não comandam estas mudanças, mas sim reagem a elas.

Destá forma, 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.

Em substituição à filosofia tradicional, temos agora um ciclo baseado na definição dos requisitos do produto e em linha com as expectativas do mercado consumidor e as exigências da legislação.

Além disso, alinhado ainda com o detalhamento destes requisitos até o nível de componentes individuais, tanto no projeto quanto na otimização e validação dos componentes, dos sistemas e do veículo como um todo. A validação final do veículo, feita por meio da simulação é conseguida, então, com a menor quantidade possível de protótipos e testes físicos.

Deste modo, o ciclo completo de desenvolvimento de um novo veículo tem sido drasticamente reduzido em termos de tempo e custo. Nos últimos anos temos visto este ciclo passar de alguns anos para 48, 36, 24 e mais recentemente 18 meses, sendo que o objetivo atual é a execução de um ciclo completo em 12 meses, a partir da definição do estilo do produto.

Quanto à utilização de protótipos físicos, associados a atividades longas e extremamente onerosas, temos acompanhado reduções significativas no número de veículos produzidos ao longo de um projeto. Fases completas de protótipos têm sido eliminadas por algumas empresas, com redução de até 50% da quantidade de veículos montados para testes.

Iniciamos este trabalho com uma análise bibliográfica de trabalhos e artigos existente relacionados este tema, abrangendo diferentes momentos e aspectos desta evolução.

Após esta revisão inicial, passamos a detalhar o processo de desenvolvimento de veículos propriamente dito, apresentando sua evolução desde o início da indústria automobilística até os dias atuais.

Nos capítulos seguintes, analisamos como a simulação e a prototipagem virtual passaram a influenciar e transformar o ciclo de desenvolvimento de veículos, bem como suas conseqüências no que se refere à otimização deste processo, elevação do nível de informações e conhecimento do produto em fases iniciais do projeto além das mudanças culturais relacionadas a esta nova realidade.

Em seguida vamos apresentar alguns exemplos dos resultados obtidos através da introdução da simulação e da prototipagem virtual no projeto de veículos, e por fim nossas considerações finais relacionadas ao tema.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Estratégias de negócios baseadas em melhorias e avanços contínuos em produtos existentes, como é o caso da indústria automobilística em geral, requerem um processo altamente produtivo de projeto e desenvolvimento de novos produtos.

Isto requer uma habilidade de combinar padrões existentes, pequenas melhorias em termos de tecnologia e ocasionalmente saltos tecnológicos cuidadosamente analisados, desenvolvidos e validados.

De acordo com Rosenthal (1992), processos formais de gerenciamento para introdução de novos produtos são normalmente utilizados nas grandes empresas e podem ser geralmente divididos em 5 fases:

- Validação da idéia
- Conceituação do projeto
- Projeto e especificação
- Fabricação de protótipos e testes
- Aceleração da produção

Ainda segundo este autor, revisões detalhadas do programa, entre as fases, são recomendadas para se rever a situação do programa em relação aos objetivos inicialmente traçados, identificando-se em avançado riscos que possam comprometer o projeto e estabelecendo-se planos para transpor estes riscos. No processo proposto ainda é enfatizada a importância da utilização de protótipos físicos ao longo do ciclo de desenvolvimento, sendo ressaltado que apesar dos custos elevados, estes protótipos consistem em uma ferramenta vital e devem ser construídos o mais cedo possível, viabilizando assim a aquisição de informações relevantes de forma antecipada. Apresenta ainda a utilização da simulação como uma ferramenta embrionária, que tende a revolucionar a fase de testes e validação de novos produtos.

Formatados: Marcadores e numeração

Ao longo das últimas duas décadas temos visto várias alterações no modo com que a simulação tem sido utilizada neste processo de criação de um novo produto, influenciando nas etapas, tempos e custos relacionados ao desenvolvimento.

De acordo com Xu (1998), em função dos avanços ocorridos na área tecnológica e relacionados a equipamentos e aplicativos, a simulação passou a representar um papel cada vez mais importante no ciclo de desenvolvimento de um novo produto, sendo responsável direta por uma redução de tempo e custo de desenvolvimento. O autor relata também de forma bastante clara o papel da simulação em diferentes épocas da indústria automobilística mundial. Segundo sua análise, quando métodos de simulação inexistiam, ou ainda se apresentavam como uma ferramenta do futuro restrita a poucos centros de pesquisa, o processo de desenvolvimento era basicamente composto por um ciclo de “Projeto – Teste”, ou Tentativa e Erro estando totalmente vinculado à construção de protótipos, testes físicos e correções de projeto baseadas nas respostas obtidas, resultando em ciclos longos e onerosos. Como processo comumente aplicado pela maioria das empresas do setor automobilístico no final da década de noventa, o autor indica a utilização da simulação como ferramenta de suporte, não sendo uma etapa obrigatória a ser cumprida, representando um auxílio na solução de problemas identificados durante testes físicos. Como tendência para evolução deste estágio de desenvolvimento, é sugerida a utilização de simulação como etapa mandatória a ser cumprida desde a fase de conceituação do produto até a fase de sua validação.

Com a introdução desta metodologia, ter-se-ia uma pré-validação do produto antes da construção do primeiro protótipo funcional e os testes físicos passariam a ser uma etapa somente de validação e não mais de desenvolvimento, eliminando-se os ciclos de Tentativa e Erro.

Em função da crescente utilização da simulação no processo de desenvolvimento e validação, Campbell (1998) analisou algumas premissas básicas relacionadas a quando devemos ou não utilizar simulação no processo de desenvolvimento. Basicamente, sugere a ampla utilização de prototipagem virtual para toda e qualquer fase de desenvolvimento, principalmente nas etapas iniciais.

desde que os fenômenos a serem estudados sejam de conhecimento pleno e que os modelos já estejam validados. Para casos nos quais o fenômeno a ser simulado não seja plenamente conhecido ou o modelo a ser utilizado não esteja plenamente validado, recomenda a utilização de testes físicos. Apresenta ainda alguns dados importantes no que tange à evolução da utilização de simulação pela Ford Motor Company. O autor aborda ainda o conceito de Custo da Certeza, ressaltando que para qualquer projeto, quanto maior o nível de segurança e certeza que desejarmos nas fases iniciais, maiores serão os gastos para obtê-los. Sugere como forma de aumentarmos o nível de certeza em fases embrionárias a utilização da prototipagem virtual que, a partir de informações preliminares do produto e investimentos aceitáveis, fornece um retorno considerável em termos de informações importantes para tomadas de decisões estratégicas para o produto.

Este aspecto relacionado ao aumento da certeza a menores custos também é enfatizado por Shih et al (1998), onde é destacado que 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. Deste modo, é indicado como fundamental que o nível de conhecimento e informações disponíveis relacionados ao novo produto seja elevado o mais rápido possível a fim de permitir uma otimização do projeto e um aumento na certeza do produto, obtidos com menores custos, e com a redução do ciclo de desenvolvimento. Outro ponto relevante apresentado está relacionado ao papel a ser desempenhado pelos projetistas no processo de desenvolvimento de um novo produto em função da nova realidade apresentada a partir da introdução da simulação como ferramenta presente do ciclo de desenvolvimento. O desafio reside no fato de projetistas, além de suas atribuições básicas, tornarem-se também responsáveis por conduzir análises e simulações, e propor alterações e melhorias confiáveis e em tempo adequado, explorando o conhecimento que já possuem do projeto. Os autores apresentam ainda uma proposta do papel a ser desempenhado pela simulação no ciclo genérico de desenvolvimento de um produto e do processo resultante desta utilização, composto por quatro fases: projeto conceitual, projeto para fase protótipo, projeto para fase de pré-produção e re-projeto do produto, sempre apoiado em simulação e testes físicos. Ressaltam ainda que através de prototipagem virtual os custos de desenvolvimento podem ser

reduzidos de maneira significativa, uma vez que atividades onerosas de fabricação, montagem e testes de protótipos podem ser reduzidas. Concluem, entretanto, que testes em protótipos físicos ainda são necessários como ferramenta de validação.

Brown (2002a) foca sua análise basicamente na necessidade de se alterar drasticamente as funções exercidas por projetistas, analistas e engenheiros no processo de desenvolvimento de um produto em função da introdução da simulação neste processo. Em função dos grandes avanços tecnológicos, da grande redução nos custos computacionais e do aumento em custos de produção e mão-de-obra, conclui que a introdução da simulação é necessária para reduzir tempo e investimentos no ciclo de desenvolvimento. Indica ele, ainda, que esta alteração no processo traz como consequência a necessidade de se rever atividades, responsabilidades e fluxos de trabalho entre projetistas, analistas e engenheiros. De acordo com sua análise, tradicionalmente o engenheiro funciona como uma ponte de ligação entre projetistas e analistas, servindo como o ponto focal do processo de criação e desenvolvimento. Em função da nova realidade, sugere o autor que as atividades de projeto, simulação e otimização passem a ser exercidas por engenheiros de projeto ou, como mencionado no artigo, um super-projetista, tornando o processo mais ágil e objetivo, acrescentando ainda a estas atividades análises quanto a manufaturabilidade e projeto de ferramental .

Em uma análise apresentada por Ryan (2001), também é comentado que em função do aumento de complexidade dos produtos e competitividade do mercado, os ciclos de desenvolvimento dos produtos devem ser reduzidos. Com esta redução, fabricação e testes de protótipos passam a representar o gargalo ou caminho crítico para o lançamento de um novo produto. É ressaltado que projetos baseados em simulação permitem aos projetistas, engenheiros e analistas acessarem mais rapidamente informações importantes de um novo produto ainda na fase de conceituação, além de ser possível, em questão de semanas, estudar inúmeras alternativas, modificações e variações em diversos testes, a uma fração do tempo e custo necessários aos processos baseados em protótipos físicos. É apresentada ainda a evolução na utilização da simulação ao longo das últimas décadas, onde inicialmente através dos processos tradicionais de CAD / CAE / CAM o foco era

dado às peças individuais, com análises restritas. O autor comenta que nos últimos anos a necessidade de se avaliar não somente componentes, mas também sistemas e veículos como um todo, aliado aos grandes avanços tecnológicos, levaram a uma mudança significativa a partir da qual a simulação passou a analisar forma, instalação, funcionamento e fabricação de peças, sistemas e veículo. Conclui que através do “Mock-up” Digital, isto é, da visualização dos componentes através de figuras sólidas analisando-se arranjo, interferências, etc., Protótipo Virtual Funcional, ou representação virtual do produto em condições de utilização e Fábrica Virtual, representada pela simulação dos processos de fabricação e montagem do produto, será possível uma transição efetiva da utilização de protótipos físicos para simulação e prototipagem virtual no processo de desenvolvimento.

Este tipo de abordagem também é descrito por Grote; Sharp (2001) e, segundo estes autores, a metodologia tradicional para projeto de um veículo era baseada no ciclo “Projeto-Construção-Teste-Reprojeto”, onde todos os testes eram executados utilizando-se protótipos físicos de alto custo. É indicado como tendência atual a utilização do Ciclo “Estabelecer Objetivo – Detalhar – Sintetizar - Confirmar”, facilitando a utilização de ferramentas analíticas em fases preliminares do projeto e, acima de tudo, criando um ambiente propício para a divisão de atividades e responsabilidades ao longo da cadeia de suprimentos, facilitando a integração de fornecedores e sistemistas no processo de desenvolvimento.

Seguindo esta mesma linha quanto ao desenvolvimento de um novo veículo, Rohde (2002) também salienta que uma vez definidos os requisitos baseados nas expectativas do mercado e na experiência da empresa, as atividades subseqüentes estão relacionadas à definição dos atributos necessários aos sistemas, subsistemas e componentes. Após estas definições básicas de requisitos segue a fase de projeto, desenvolvimento e otimização dos componentes, subsistemas, sistemas e veículo, executada totalmente apoiada em prototipagem virtual e testes virtuais. A fase final consiste na fabricação, montagem e teste destes componentes, subsistemas, sistemas e veículo previamente desenvolvidos e validados através de simulação. Por fim é indicada a fase de validação do produto proveniente da linha de produção, cujo objetivo é a validação do processo final. O grande avanço tecnológico ocorrido é

indicado como agente facilitador para toda esta revolução dos processos e crescimento da engenharia virtual. Como conclusão, o grande desenvolvimento e extenso uso de métodos computacionais bem como a elevação da capacidade computacional são apresentados como os alicerces que suportam toda a fase de síntese.

Bullinger; Bauer (1999) indicam que, embasado em todo este avanço nos métodos e capacidades computacionais, a criação do “Mock-up” Digital tornou-se a plataforma de suporte a toda esta revolução nos métodos e processos de desenvolvimento de novos produtos. Sendo uma completa descrição ou representação digital do produto para desenvolvimento, projeto, validação e manufatura, passa a ser o alicerce à integração de ferramentas e áreas no processo de criação de novos produtos.

Perini et all (2002), apresentam uma abordagem da utilização da prototipagem virtual no ciclo de desenvolvimento de produtos mais voltada para aspectos operacionais desta aplicação. Expõem de forma clara as vantagens obtidas através da utilização de prototipagem virtual aliada a recursos relacionados à Intranet e Internet no que tange à globalização do desenvolvimento de novos produtos empregando centros de desenvolvimento em diversos países, bem como a interligação com parceiros tecnológicos e clientes. Ressaltam também que estas novas tecnologias aliadas permitem um desenvolvimento integrado e colaborativo praticamente em tempo real do produto em diversos locais, tornando o fluxo de informações mais eficiente, rápido e confiável, contribuindo assim de forma relevante para a redução do ciclo. Outro fator apresentado como relevante para a otimização do processo está relacionado à redução no tempo de elaboração de desenhos de componentes a partir dos protótipos digitais criados na fase de desenvolvimento, bem como na elaboração de listas de componentes e seqüência de montagem.

Por outro lado é ressaltado por Schelkle; Elsenhans (2001) que apesar de atualmente aplicações de ferramentas CAE terem se transformado em parte integrante do processo de desenvolvimento de veículos, os resultados obtidos através

de simulações apresentam-se disponíveis muito tarde em relação à fase de conceituação do produto. Cometam que as ferramentas atualmente disponíveis enquadram-se melhor aos requisitos e ambiente encontrados na fase de desenvolvimento, onde se têm claramente definidas geometrias, superfícies, modelos dos componentes e sistemas, condições de contorno. Enfatizam a necessidade de se desenvolver ferramentas adequadas a, através das informações disponíveis na fase de conceituação do produto e de forma rápida, gerar análises preliminares relacionadas a aspectos estruturais, de ruídos e vibrações, testes de impacto entre outros, bem como estudo comparativo entre alternativas de maneira rápida e a custo relativamente baixo.

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. Descreve ainda os elementos-chave para a ruptura deste paradigma, incluindo novos processos, novas tecnologias, gerenciamento e alinhamento de recursos de acordo com os objetivos da empresa, Engenharia Simultânea e principalmente a correta identificação das necessidades do mercado e o projeto baseado em simulação.

3. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Novos produtos determinam o futuro das empresas manufatureiras. Sem o desenvolvimento de produtos eficientes, bem projetados e que satisfaçam às necessidades do mercado, o futuro destas empresas é limitado uma vez que se basear no sucesso de produtos existentes pode ser o caminho para a sua ruína.

Para obter sucesso, um novo produto deve oferecer ao potencial consumidor fatores que o diferenciem dos concorrentes existentes em termos de utilidade, preço, estilo, desempenho e disponibilidade.

O processo através do qual uma idéia torna-se uma realidade comercial traz às empresas desafios relacionados ao seu sucesso ou fracasso no mercado. Deste modo as empresas são obrigadas a responderem a estes desafios com mudanças no processo através do qual projetam e desenvolvem novos produtos, tornando-os mais eficientes.

Mais do que fazer a coisa certa, como definido por Rosenthal (1992), definimos esta eficiência como fazer a coisa certa, no momento certo, e utilizando o mínimo possível de recursos.

No processo em estudo, isto significa projetar um veículo que, uma vez fabricado e distribuído, irá atender às necessidades presentes no mercado, exceder às expectativas dos clientes e ao mesmo tempo atingir os objetivos da empresa em termos de faturamento, lucro ou participação no mercado, e estabelecer uma base para o futuro. Em paralelo a isto, 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.

Este processo deve ser conduzido de forma planejada e normalmente em curtos ciclos de desenvolvimento. Para isto, podemos considerar basicamente três situações de desenvolvimento de produtos em termos de mudanças ou avanços promovidos.

O primeiro reflete pequenas melhorias ou combinações realizadas nos produtos existentes. Seguem-se a isto pequenas alterações de caráter técnico com alguma ênfase em evolução tecnológica e por fim alterações radicais de produtos existentes ou criação de novos produtos com grandes avanços tecnológicos.

Com base nesta abordagem pode-se considerar grande parte dos projetos desenvolvidos na indústria automobilística como conduzidos de forma a promover pequenas melhorias tecnológicas em produtos existentes uma vez que não há alterações drásticas no conceito do produto; um veículo sobre rodas, utilizando motor de combustão interna e transmissão como sistema de propulsão.

Os avanços normalmente ocorrem e são implementados em sistemas separadamente. Com o lançamento de um novo veículo, além da alteração em seu visual, grande parte dos sistemas é mantida similar à de seu antecessor. Evoluções tecnológicas são restritas a sistemas isolados.

Normalmente grandes empresas seguem processos para gerenciamento do ciclo de projeto, desenvolvimento, validação e introdução de um novo produto no mercado. Genericamente estes processos, como detalhadamente descrito por Rosenthal (1992), são divididos em cinco fases:

- FASE 0 - Validação da idéia: consiste na identificação de uma necessidade de mercado, no desenvolvimento de alternativas de produtos que satisfaçam esta necessidade e em um refinamento destas alternativas;
- FASE 1 - Projeto Conceitual: detalhamento técnico e financeiro da alternativa que satisfaça às necessidades do mercado de modo a promover um estudo de viabilidade técnico-econômica da proposta. Nesta fase são estabelecidos os objetivos relacionados a preço, qualidade e desempenho do produto, bem como prazo e custo para implementação;

Formatados: Marcadores e numeração

- FASE 2 - Projeto e especificação: nesta fase ocorre o projeto do novo produto propriamente dito;
- FASE 3 - Fabricação de protótipos e testes: a partir do projeto detalhado, segue-se a fase de construção e testes de protótipos com o objetivo de validar o novo produto; nesta etapa pode-se verificar fisicamente se o novo produto atende às especificações e objetivos estabelecidos na fase de Projeto Conceitual;
- FASE 4 – Aceleração da Produção: o objetivo desta fase é a aceleração da produção do novo produto e a introdução deste no mercado.

Além disto, revisões gerais são recomendadas para análises completas do andamento do projeto, comparações destes resultados aos objetivos originalmente estabelecidos para o novo produto e a decisão de se prosseguir ou não o processo.

Este processo pode ser melhor visualizado na figura 3.1 a seguir, onde notamos a presença destes pontos de revisão geral do processo de desenvolvimento.

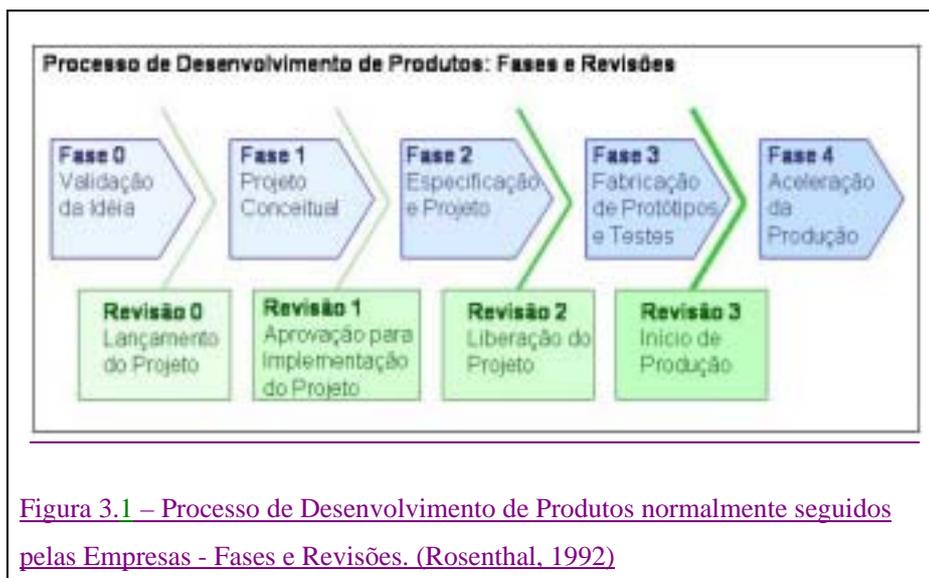


Figura 3.1 – Processo de Desenvolvimento de Produtos normalmente seguidos pelas Empresas - Fases e Revisões. (Rosenthal, 1992)

Vale ressaltar entretanto que, segundo nossa análise, comparando-se este processo teórico com as atividades que realmente são desenvolvidas nas empresas, vemos que estas etapas não apresentam-se claramente definidas, apresentando geralmente certa sobreposição e simultaneidade de atividades.

Outro 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. Em períodos anteriores, estas revisões com o objetivo de avaliar aspectos técnicos e financeiros do projeto não eram praticadas formalmente.

Basicamente podemos afirmar que os processos de desenvolvimento de novos produtos têm como atividade inicial a identificação de uma necessidade do mercado.

A partir da identificação desta necessidade, e do estabelecimento do conceito de um produto que satisfaça esta necessidade, seguem-se as atividades relacionadas à transformação deste conceito em um produto real.

Em função da expectativa do mercado e do conhecimento, experiência e metas da empresa, são definidos os objetivos para o novo produto, como qualidade, desempenho, valor, entre outros. Esta fase pode ser entendida como o estabelecimento e alocação dos requisitos deste novo produto.

Na seqüência, temos a etapa de detalhamento dos requisitos estabelecidos, onde estes são traduzidos em termos de requisitos dos sistemas, subsistemas e componentes que constituirão o produto final, tendo desta forma o desmembramento do produto em componentes individuais.

Uma vez definidos os requisitos de cada componente, subsistema e sistema que irão compor o produto passa-se a projetar, testar e validar estes itens. Este processo, segundo diversos autores pesquisados, consiste na síntese do produto uma vez que o projeto e validação parte dos componentes individuais, seguidos dos subsistemas e sistemas até chegar-se no produto completo.

Este processo pode ser resumidamente expresso como sendo formado pelo ciclo “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar”, onde se parte dos requisitos do produto e se chega aos requisitos dos componentes individuais; efetua-se projeto, desenvolvimento e validação dos componentes individuais, subsistemas, sistemas até chegar-se ao produto completo. Na figura 3.2, temos uma representação esquemática deste processo.

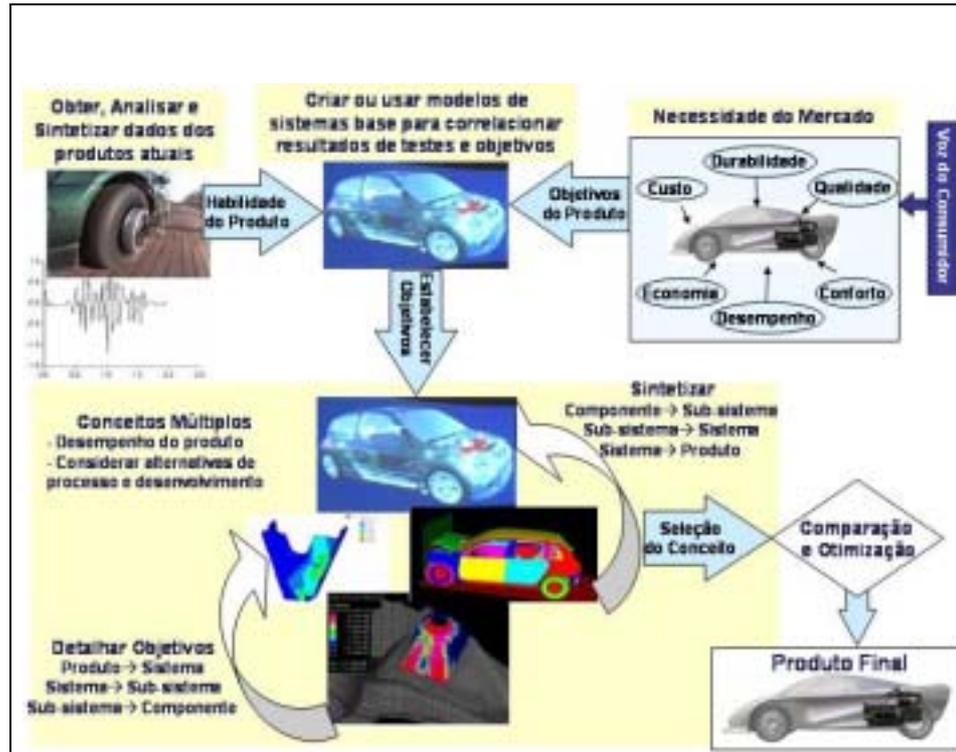


Figura 3.2 – Ciclo de Desenvolvimento “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar”

Um ponto importante que deve ser ressaltado está relacionado à identificação de oportunidades no mercado. Entendemos que esta atividade é de vital importância para o sucesso a longo prazo de uma empresa. O horizonte que se utiliza para esta pesquisa de mercado deve ser suficientemente longo de forma a conter um ciclo completo de desenvolvimento de um novo produto.

Igualmente relevante é o conhecimento do ciclo de vida do produto atual, pois se deve conhecer ou estimar o seu tempo de vida no mercado, analisar o momento em que este deve ser substituído em função de declínio nas vendas, bem como o tempo necessário para se desenvolver e introduzir o novo produto.

Em função da vital importância do conhecimento do ciclo de vida do produto atual e da necessidade de identificação dos anseios do mercado para o futuro,

identificamos aqui uma grande oportunidade de aprimoramento para a indústria automobilística nacional.

Vemos esta fase do processo como a mais frágil de todo o ciclo de criação de novos produtos na indústria automobilística nacional e que requer o maior aprimoramento uma vez que o correto projeto, desenvolvimento, validação e lançamento de um produto somente atingirá o sucesso se estiver de acordo com as necessidades do mercado no momento apropriado.

Como corretamente comentado por Grote; Sharp (2002), deve-se notar que este Ciclo de “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar” contribui significativamente para a utilização de ferramentas analíticas em fases preliminares do projeto.

Além disto, em nossa análise, esta metodologia cria um ambiente propício para a divisão de atividades e responsabilidades ao longo da cadeia de suprimentos facilitando a integração de fornecedores e sistemistas no processo de desenvolvimento, além da descentralização do projeto e sua execução simultânea em mais de um centro de desenvolvimento, contribuindo de forma significativa para a realização de projetos globalizados. Notamos que esta descentralização do projeto tem sido uma prática bastante utilizada pelas indústrias do setor automobilístico.

Com relação ao desenvolvimento de um novo produto, é importante destacarmos novamente que, além de resultar na criação de um produto que satisfaça e exceda as expectativas do mercado, este deve ocorrer no menor tempo possível e consumir o mínimo possível de recursos.

Deste modo, estes dois fatores, tempo e custo, podem ser encarados como peças-chave, ao lado do produto em si, para o sucesso de um projeto e, conseqüentemente, de uma empresa.

Como comentado anteriormente, no cenário automobilístico há cerca de quinze anos, encontravam-se ciclos de desenvolvimento ao redor de quarenta e oito meses a partir da definição do estilo do veículo. Hoje podemos afirmar que este ciclo

já se encontra entre dezoito e vinte e quatro meses, e o objetivo a curto prazo é alcançar ciclos completos em doze meses.

Quando analisamos mais detalhadamente o processo atual, de duração ao redor de dezoito a vinte e quatro meses, notamos que subtraindo o período necessário para a execução de rearranjos e adequações da planta para montagem do novo produto, e para projeto e fabricação de ferramentais, que podemos considerar como uma das porções mais significativas do tempo disponível no ciclo completo, verificamos que restam apenas poucos meses para se executar o projeto e validação do novo veículo. Fica claro o grande desafio que a indústria automobilística terá de enfrentar em um curto intervalo de tempo.

Como ilustrado por Ryan (2001), o BMW Série 3 lançado em 1999 consumiu cerca de cinco anos e 2.6 milhões de homens-hora para ser concebido, e seria superado por muitos outros veículos novos em um período bastante curto de tempo. Estes novos veículos seriam desenvolvidos em menos da metade do tempo e iriam incorporar mais avanços tecnológicos e representar mais valor ao consumidor do que o então recém lançado BMW.

Diversos autores ressaltam a utilização de engenharia simultânea, simulação e prototipagem virtual como o caminho a ser seguido para se alcançar reduções no tempo e orçamento consumidos durante o ciclo de desenvolvimento, bem como obtenção de melhores níveis de informação deste novo produto em fases iniciais deste ciclo, e redução no custo da certeza.

Entretanto, observamos que na indústria automobilística nacional este processo ainda se encontra em fase de implementação na maioria das empresas. Até cerca de cinco anos grande parte do processo ainda estava baseado no desenvolvimento e validação de protótipos físicos, com a simulação sendo normalmente aplicada para suporte à solução de problemas.

Reconhecemos a partir do final da década de noventa uma movimentação no sentido de migrar as atividades de desenvolvimento para a simulação e prototipagem virtual, concentrando a utilização de protótipos físicos para atividades de validação.

Porém este processo de desenvolvimento ainda não pode ser considerado como implementado e independente do protótipo físico.

Concluimos assim que a adoção do ciclo de atividades resumidamente expresso por “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar” trás uma rotina de atividades lógica, cadenciada e que auxilia no estabelecimento de um ambiente propício à introdução da simulação e à descentralização e globalização das atividades de desenvolvimento.

Reconhecemos ainda que a simulação não é apenas uma tendência. A sua implementação e utilização no desenvolvimento de um novo produto é uma necessidade e contribui de maneira significativa para a otimização deste processo.

Uma análise mais detalhada da utilização da simulação e prototipagem virtual, bem como a variação do custo da certeza no projeto será apresentada nos capítulos a seguir.

4. SIMULAÇÃO NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE VEÍCULOS

Em função da globalização, da competição no setor automotivo e do crescente aumento na pressão por produtividade e lucratividade as empresas deste setor buscam alternativas para o desenvolvimento de novos produtos a um menor custo e tempo.

O ciclo completo de desenvolvimento de um novo veículo, desde sua concepção inicial até o início de produção, vem sendo reduzido drasticamente. Há pouco mais de uma década, um novo veículo poderia ser competitivamente concebido e lançado em quatro a cinco anos.

Durante a década de noventa, o mercado e a concorrência acirrada fizeram com que o período de desenvolvimento fosse sendo reduzido sucessivamente para trinta e seis, vinte e quatro e dezoito meses. Montadoras japonesas, mais fortemente a Toyota, têm se destacado nesta incessante busca por novos métodos de projeto e validação de modo a reduzir este ciclo para introdução de um novo modelo no mercado - *Time to Market* -, reinventando processos e fazendo uso de novas tecnologias. Como mencionado no capítulo anterior, o padrão atual para um ciclo completo de desenvolvimento situa-se ao redor de vinte e quatro meses e o objetivo atual é atingir-se um ciclo completo de doze meses.

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.

Como apresentado por diversos autores pesquisados, uma das principais alternativas a estes novos desafios é representada pela introdução e ampla utilização de simulação e prototipagem virtual durante o processo de desenvolvimento de um novo produto.

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.

Inicialmente estes testes físicos eram conduzidos em vias públicas representando as condições reais de utilização dos veículos. Nesta fase inicial, em virtude da grande variedade de condições e ambientes de utilização, o grande desafio tornou-se a criação e desenvolvimento de procedimentos e locais específicos.

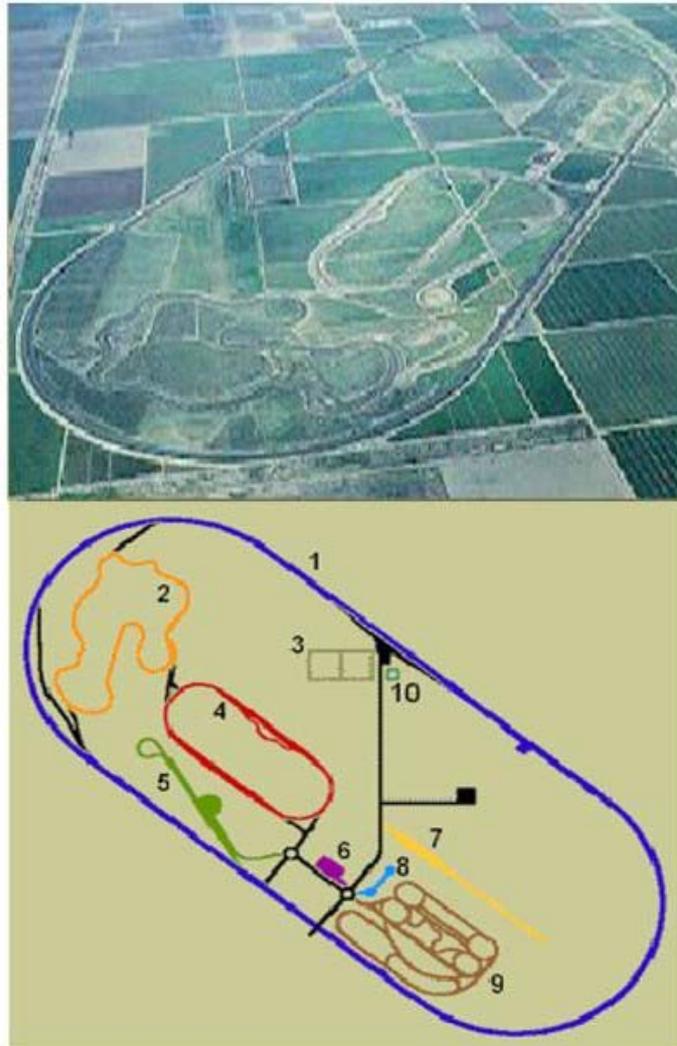
Um primeiro avanço neste processo, ao longo da década de vinte, foi a criação de Campos de Provas com o intuito de se reproduzir situações reais de utilização, porém em condições controladas e padronizadas.

Diferentes pistas, como ilustrado nas figuras 4.1 e 4.2, e procedimentos de testes passaram a ser introduzidos de modo a tentar se abranger as mais variadas condições de utilização.

Como resultado deste primeiro passo, condições e procedimentos padrões haviam sido criados tornando as atividades de desenvolvimento e validação mais seguras e confiáveis, uma vez que os testes passaram a ser desenvolvidos em locais cujas condições eram controladas.

Como benefício desta nova condição, vislumbrou-se também a possibilidade de se promover testes acelerados, uma vez que nestes Campos de Provas foi possível concentrar, em pequenos trechos de pistas, as condições mais severas e diversas encontradas no sistema viário público.

Ao longo da década de setenta outro avanço importante na área de desenvolvimento e validação foi a introdução de Laboratórios de Simulação. A partir de dados colhidos em pistas utilizando-se veículos instrumentados e dispositivos especialmente projetados, testes de componentes, sistemas ou veículos completos passaram a ser realizados em laboratórios (testes em bancada).



- | | |
|--|--|
| 1. Pista oval de alta velocidade | 6. Área de avaliação estrutural |
| 2. Pista de uso geral | 7. Pista de baixo abrigo |
| 3. Área de análise de temperatura | 8. Rampas |
| 4. Pista para análise de rodagem | 9. Pista (durabilidade e fora-de-estrada) |
| 5. Pista com piso irregular | 10. Pista (fora-de-estrada) |

Figura 4.1 - Campo de Provas da Nissan – Arizona

Estes dados, acelerações, esforços, frequência de vibração entre outros, são reproduzidos através dos dispositivos de modo a submeter os componentes, sistemas

ou o veículo completo às mesmas condições a que estariam sujeitos nas pistas, porém em laboratório e ininterruptamente.



Figura 4.2 - Diversos Tipos de Pistas de Provas – Campo de Provas da Ford – Arizona

Nas figuras 4.3, 4.4 e 4.5 apresentamos alguns exemplos destes testes em laboratórios. Nestas imagens estão representados, respectivamente, veículos instrumentados para coleta de dados para alimentação dos dispositivos de testes para componentes isolados e veículos completos.



Figura 4.3 – Testes para Coleta de Dados (Zwaanenburg, 2002)

Com a introdução de testes em laboratórios, ou em bancada, ainda foi possível a aceleração dos testes em virtude de poder-se escolher a reprodução dos trechos mais severos ou relevantes do ciclo de teste em pista. Assim, testes que em pistas poderiam durar meses, em laboratórios passaram a ser executados em semanas ou dias.



Figura 4.4 – Testes Simulados de Componentes em Laboratórios (Zwaanenburg, 2002)



Figura 4.5 - Testes Simulados de Veículos em Laboratórios (Zwaanenburg, 2002)

Este processo de desenvolvimento baseado predominantemente em protótipos e testes físicos ilustrado esquematicamente na figura 4.6, e representando um ciclo de “Projeto – Teste”, ou Tentativa e Erro, pode ser considerado como sendo o processo tradicionalmente utilizado pelas empresas do setor automobilístico até meados da década de noventa.

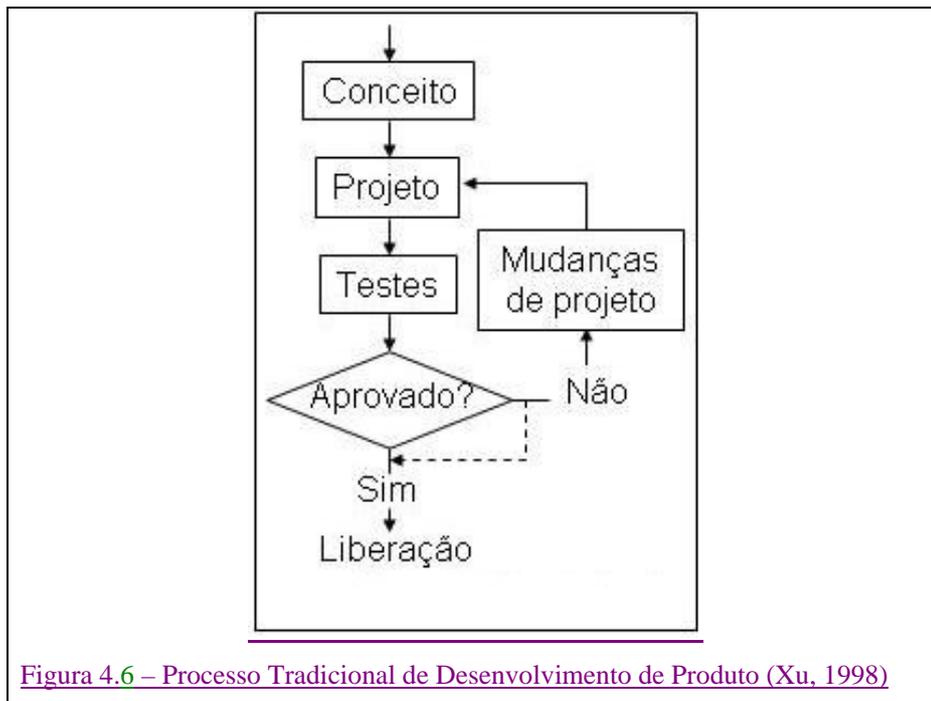


Figura 4.6 – Processo Tradicional de Desenvolvimento de Produto (Xu, 1998)

Assim, em função da 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 encarada como o 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 final da década de oitenta e início de noventa refletiam o desenvolvimento de componentes individuais e focavam basicamente estudos relacionados à 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 a resistência estrutural do componente. Um fluxo simplificado deste processo está apresentado na figura 4.7.

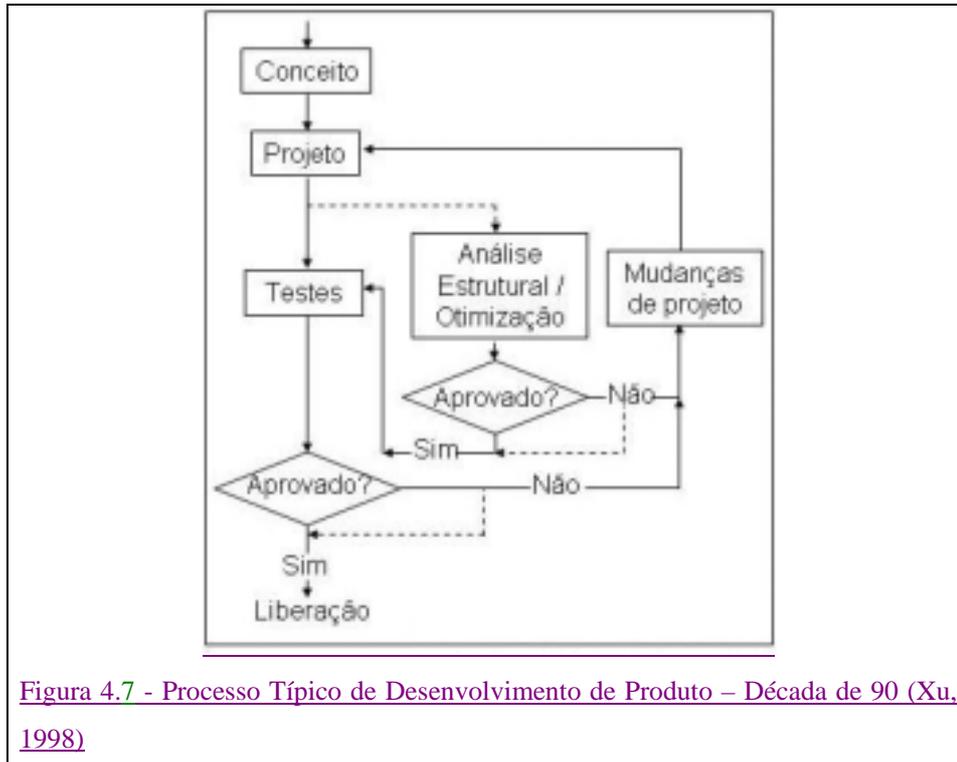


Figura 4.7 - Processo Típico de Desenvolvimento de Produto – Década de 90 (Xu, 1998)

Como pode ser observado no fluxo apresentado na figura 4.7, a simulação durante este período era encarada como 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 eram protótipos e testes físicos que representavam elevados custos e longos períodos para serem construídos e realizados.

Como exemplo do que a utilização de protótipos físicos para testes representa em termos de tempo, nossa experiência nesta área indica que comumente é consumido ao redor de seis meses, a partir da liberação dos desenhos do novo produto, para a construção do ferramental protótipo, a fabricação dos componentes e a montagem dos veículos. A partir deste momento torna-se possível a realização dos testes que podem durar de algumas semanas a seis meses ou mais.

Ao longo dos anos, nossa vivência nesta área também identifica que outro ponto a ser considerado para a criação de alternativas aos demorados e onerosos protótipos e testes físicos está relacionado à limitação imposta quanto ao processo de análise de alternativas de projeto e otimização do produto.

As iterações possíveis, em função do elevado custo e longo tempo envolvidos, eram restritas; tanto no processo tradicional, figura 4.6, quanto no processo tipicamente encontrado ao longo da década de noventa, figura 4.7. Os testes físicos não eram apenas ferramentas de validação, mas também de desenvolvimento e aprendizagem. Em função disto, os projetos ou conceitos eram basicamente revistos apenas em situações onde algum problema era detectado durante os testes.

Desta forma ao longo de muitos anos vivemos situações nas quais, devido aos altos custos envolvidos neste processo de desenvolvimento, as iterações eram basicamente restritas à correção de problemas. Esta situação normalmente conduzia a um projeto super-dimensionado, onde o foco principal no período de desenvolvimento e validação estava voltado à verificação do componente, sistema ou veículo completo quanto à sua aprovação em relação aos objetivos estabelecidos.

Como fatores limitantes para a utilização em larga escala da simulação e da prototipagem virtual neste período tínhamos o custo e a disponibilidade de capacidade computacional, além de aspectos culturais.

Quanto aos aspectos culturais, dois autores exemplificam de maneira simples a barreira cultural a ser transposta.

Zwaannenburg (2002) trás à tona esta barreira através de um comentário simples e direto, retratando uma situação bastante comum encontrada até pouco tempo: “Todos acreditam nos resultados dos testes, exceto os engenheiros de teste; ninguém acredita nos resultados das análises, exceto os analistas”.

Isto pode ser plenamente compreendido pois, no início do processo de introdução da simulação, havia poucos profissionais aptos a trabalharem com estes métodos e portanto capazes de interpretá-los. Além disto, todo o processo bem como seus resultados eram apresentados de forma numérica tornando ainda mais difícil sua compreensão. Quando comparamos esta situação ao fato de que resultados de testes em componentes e veículos físicos eram reais e visíveis podemos entender a dificuldade dos profissionais em aceitarem os resultados provenientes da simulação.

Por outro lado, os engenheiros de testes muitas vezes demonstravam dificuldades em aceitar os resultados destes testes principalmente em situações extremas, ou seja, quando estes indicavam a aprovação de um componente que estava nitidamente super-dimensionado ou, na situação oposta, apesar do resultado atestar a aprovação sua experiência indicava que o componente não estava totalmente desenvolvido ou apresentava-se em uma condição limítrofe.

Brown (2001) expõe a mesma situação encontrada na General Motors, e como esta foi resolvida: “...a General Motors sempre foi uma empresa baseada em protótipos. Nunca teria sido possível implementar as mudanças necessárias através de justificativas baseadas em custos. Isto era cultural. Tentando-se justificar através de custos, a ação requerida teria envolvido discussões intermináveis...a GM corrigiu o problema cultural...Eles removeram uma fase completa de protótipos, uma iteração completa. Anteriormente, a GM tinha quatro fases de desenvolvimento – Mula, Alfa, Beta e Gama... A gerência concluiu que a GM estava realizando testes em excesso, e simplesmente eliminou um bloco completo. Nenhum teste em protótipo seria permitido na primeira fase, a fase Alfa. A GM reduziu seu desenvolvimento para três fases eliminando a fase de protótipos Alfa...”

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 os autores pesquisados, temos:

1. O grande avanço na capacidade computacional, como Fator Facilitador.
2. Mudanças no mercado quanto às exigências do consumidor e a concorrência acirrada entre as montadoras, como Fator Motivador.

Como mencionado por Grote; Sharp (2001): “Completamente repensada, re-projetada e re-engenheirada para os clientes do ano 2000... Não o automóvel... a Empresa”. Estas mudanças nas empresas automobilísticas estão sendo propiciadas por novas tecnologias, e alavancadas por um desejo de melhoria na competitividade e lucratividade.

Se analisarmos em detalhes a evolução da indústria automobilística mundial, podemos concluir que as maiores revoluções estão relacionadas à introdução da eletrônica aos sistemas veiculares ao longo da década de oitenta e às constantes alterações nos métodos e processos utilizados para a criação e fabricação de automóveis.

Relacionado à evolução tecnológica, vemos 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 4.8, comparando-se com o recurso disponível atualmente, vemos que a capacidade computacional em meados da década de noventa era praticamente inexistente.

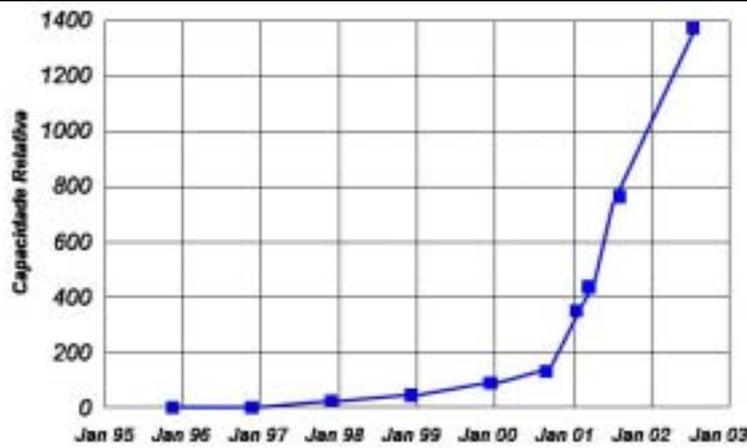


Figura 4.8 – Aumento da Capacidade Computacional na General Motors da América do Norte (Bokulich, 2001)

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 qual 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 4.9, sendo esta nova abordagem um consenso entre os autores pesquisados.

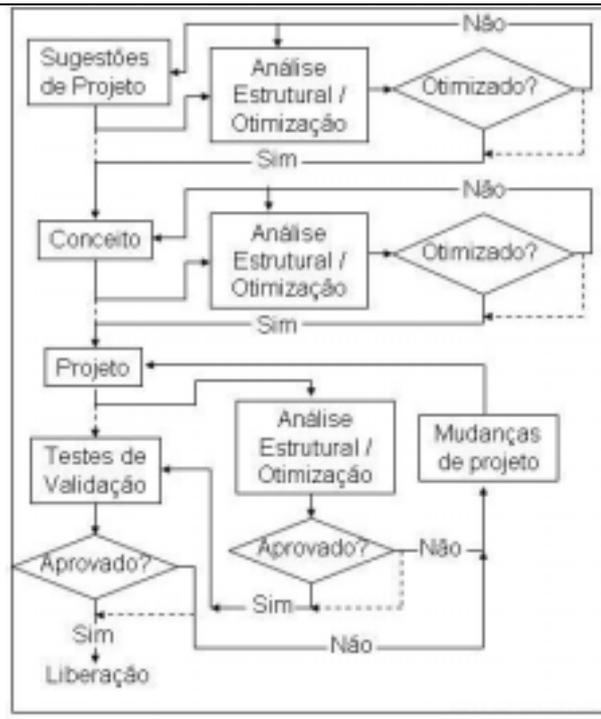


Figura 4.9 – Processo de Desenvolvimento de Produto através de Engenharia Simultânea com Simulação Integrada (Xu, 1998)

Todos relatam as grandes vantagens em se aplicar a análise e simulação desde as fases iniciais do projeto. Como benefícios desta prática, 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 4.10 e 4.11.

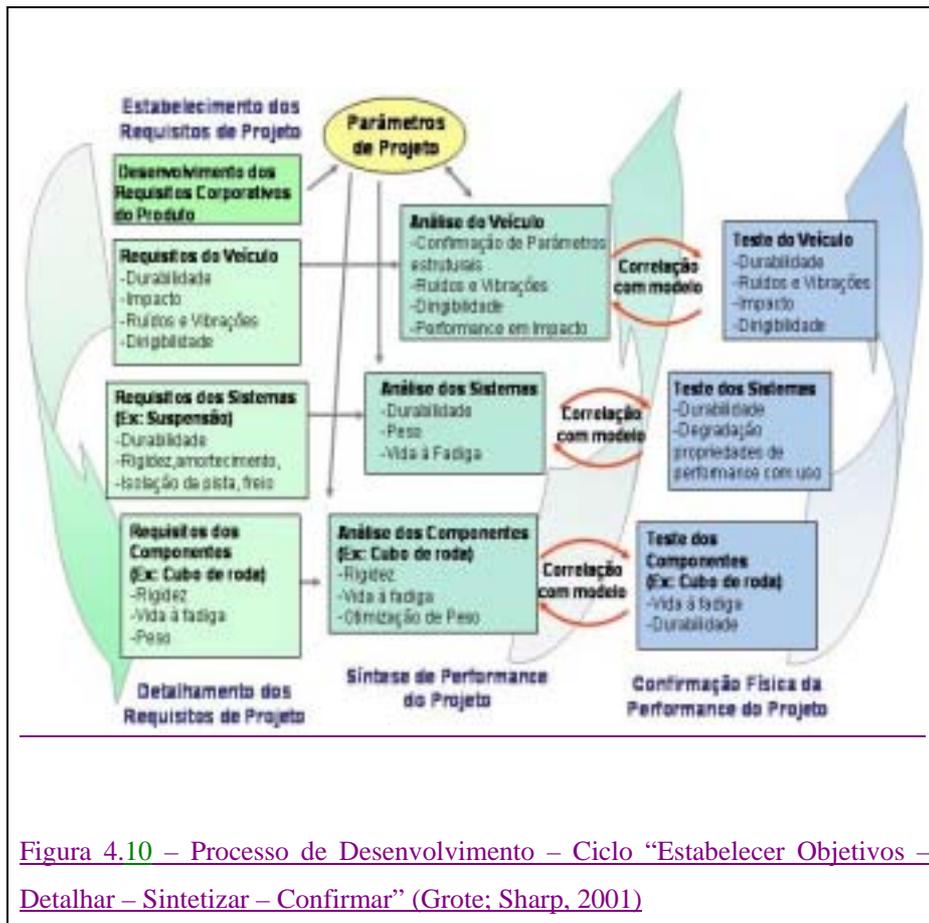


Figura 4.10 – Processo de Desenvolvimento – Ciclo “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar” (Grote; Sharp, 2001)

Retornando ao comentário de Zwaannenburg (2002), que relata que no início da utilização da simulação no ciclo de desenvolvimento todos acreditavam 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.

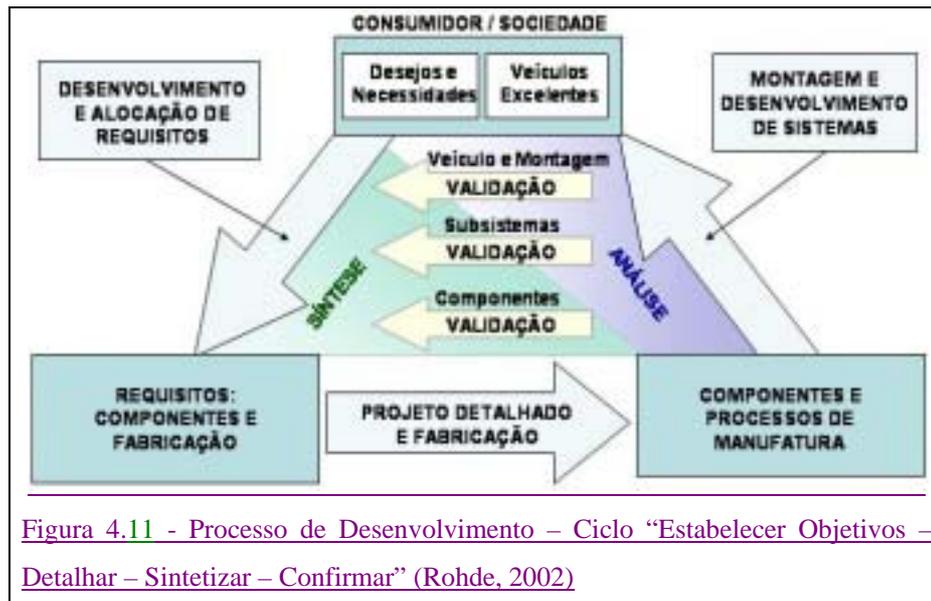


Figura 4.11 - Processo de Desenvolvimento – Ciclo “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar” (Rohde, 2002)

Em adição a isto, os resultados provenientes da simulação passaram a embasar a posição do engenheiro de testes que, apesar de aprovarem componentes em função de procedimentos e requisitos estabelecidos, questionavam estes resultados uma vez que sua experiência indicava que o componente estava superdimensionado ou se apresentava uma condição limite de utilização.

É notório também que a maioria dos autores pesquisados alia a introdução da simulação como etapa obrigatória no processo à utilização do ciclo “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar” e à 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 iterações 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 não seja super-dimensionado.

Com a introdução desta metodologia, temos o desenvolvimento, otimização e pré-validação do produto antes da construção do primeiro protótipo funcional, e os testes físicos passam a ser uma etapa somente de validação e não mais de aprendizado e desenvolvimento, eliminando-se os ciclos de “Tentativa e Erro”.

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

Destá forma concluímos que não é mais 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 custo necessários aos processos baseados em protótipos físicos, como ilustrado nas figuras 4.12 e 4.13.

Mais recentemente, a necessidade de se avaliar não somente componentes, mas também sistemas e veículos como um todo, aliada aos grandes avanços tecnológicos, levaram a uma mudança significativa a partir da qual a simulação passou a analisar forma, instalação, funcionamento e fabricação de peças, sistemas e veículo.

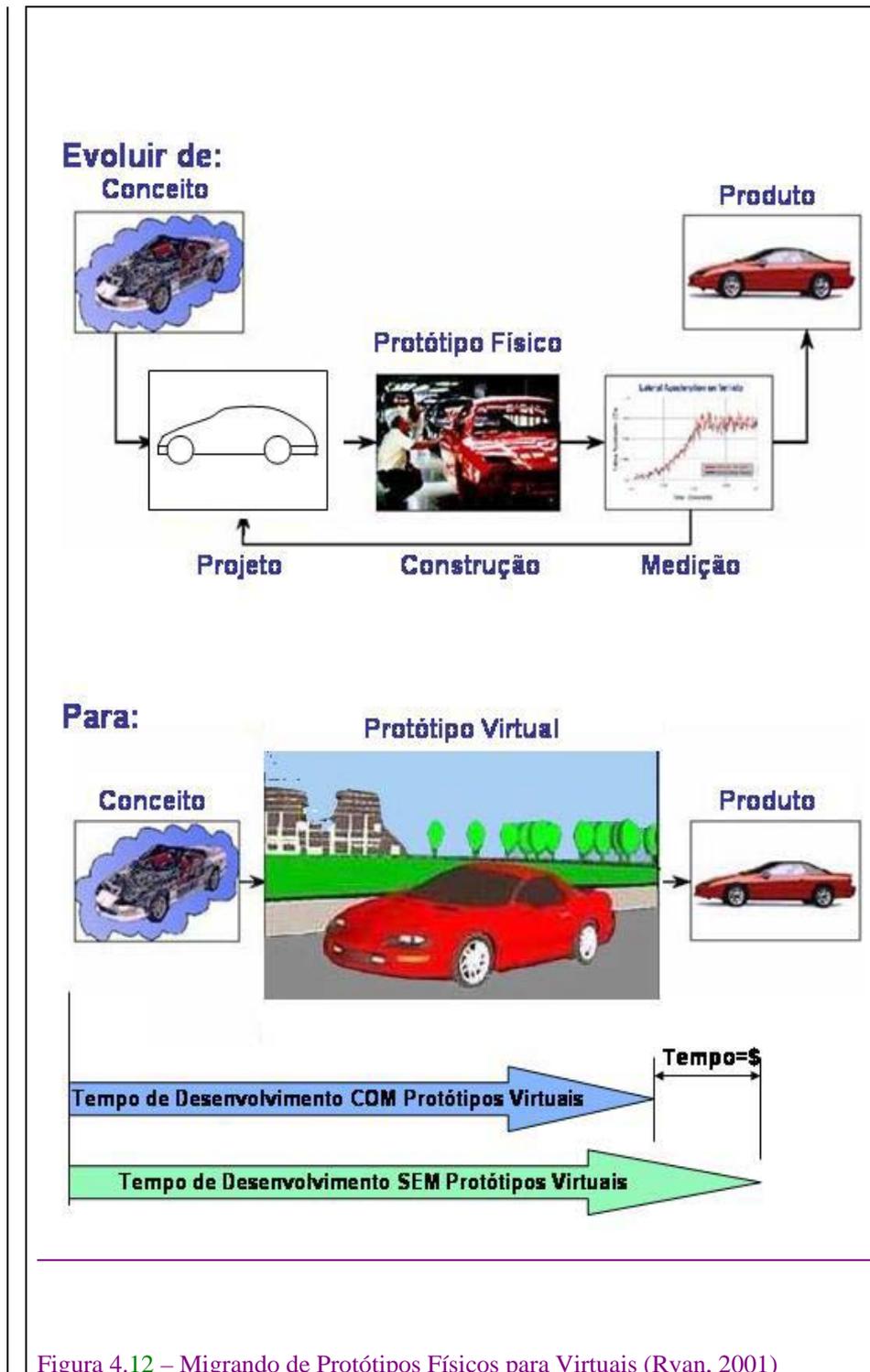
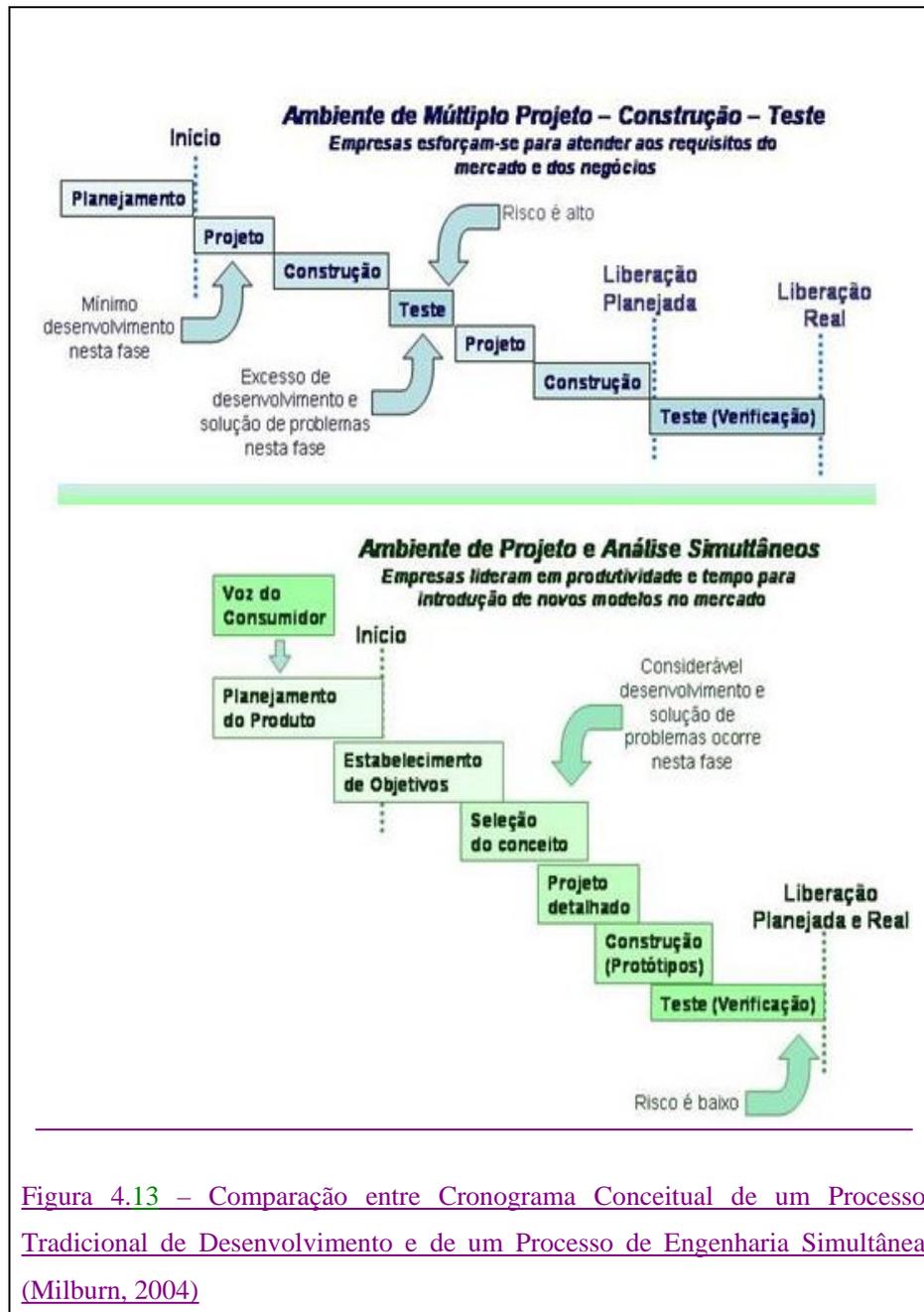


Figura 4.12 – Migrando de Protótipos Físicos para Virtuais (Ryan, 2001)



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 tri-dimensionais permitem a construção e avaliação virtual de veículos completos, sem a necessidade de se fabricar um componente físico sequer.

Um outro passo para esta avaliação virtual completa do produto é a criação de Protótipos Virtuais Funcionais, onde através de modelos criados pode-se representar a simulação do veículo em condições reais de operação em laboratórios ou campos de provas também virtuais, dentro do conceito simule como você testa.

Em complemento a todo este ciclo de desenvolvimento virtual, temos também a introdução de Fábricas Virtuais, onde é possível simular todo o processo de fabricação, montagem e manutenção do veículo.

A combinação do “Mock-up” Digital, com o Protótipo Virtual Funcional e a Fábrica Virtual provê os meios necessários para se realizar uma transição efetiva dos protótipos e testes físicos para os protótipos virtuais. Uma visão geral deste sistema de desenvolvimento baseado em protótipos virtuais está apresentado na figura 4.14.



Figura 4.14 – Tendência de evolução no desenvolvimento virtual de produtos

(Schelkle; Elsenhans, 2001)

Em linha com esta abordagem, Zorriassatine et all (2003) classificam a prototipagem virtual em cinco classes, de acordo com a utilização:

1. Modelos para Visualização: usados para avaliação de forma e aparência.
2. Montagem e Interferência: verificação de montagem de peças, subsistemas, sistemas e produto completo.
3. Teste e Verificação de Funcionamento e Desempenho: protótipos virtuais usados para avaliação de aspectos estruturais, tais como durabilidade, fadiga vibração etc. e acústicos; comportamento aerodinâmico; estudos relacionados à circulação e fluxo de ar nos diversos compartimentos; comportamento térmico; comportamentos cinemático, velocidade, aceleração, rotação e dinâmico, avaliação de suspensão, freios, impacto; entre outros.
4. Manufaturabilidade: para prever e simular o processo de geração do novo produto, analisando-se desde os aspectos relacionados à fabricação dos componentes, processos de estampo, forja, injeção, usinagem, até a seqüência final de montagem.
5. 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; e visibilidade, entre outros.

Além disto a crescente evolução e acessibilidade às novas tecnologias relacionadas à realidade virtual tornam mais palpável 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 como pode ser visto nos exemplos apresentados na figura 4.15.

Por outro lado, mesmo com todos os avanços incorporados ao processo de desenvolvimento de produtos pela introdução da simulação e da prototipagem virtual, notamos que alguns autores como Schelkle; Elsenhans (2001), identificam a oportunidade de desenvolvimento de ferramentas adequadas à geração de análises

Formatados: Marcadores e numeração

preliminares baseadas nas informações disponíveis na fase de conceituação do produto, ressaltando que os meios atualmente disponíveis adaptam-se melhor às necessidades e ambiente encontrados na fase de desenvolvimento onde se têm mais claramente definidos geometrias, superfícies, modelos dos componentes e dos sistemas, condições de contorno entre outros.



Figura 4.15 – Realidade Virtual no Desenvolvimento de Produtos (Valério et al, 2002).

Entendemos entretanto que, como apresentado na tabela 4.1, os recursos atualmente disponíveis são aptos a gerar análises e resultados comparativos entre alternativas a serem estudadas mesmo nas etapas iniciais deste processo.

Assim, considerando que o objetivo desta etapa inicial do processo se concentra na análise das alternativas e seleção do conceito mais adequado e da natureza evolutiva dos projetos conduzidos na área automobilística, baseados em

produtos existentes, concluímos que os métodos atualmente disponíveis atendem às necessidades da indústria automobilística nesta fase de conceituação do produto.

CAE na Fase de Conceituação	CAE na Fase de Desenvolvimento
- Avaliação rápida de diferentes conceitos	- Necessidade de modelos bem detalhados; resultados precisos e confiáveis
- Elevados custos para aquisição de dados	- Grandes mudanças de projeto devem ser evitadas ou minimizadas
- Poucos procedimentos formalizados	- Interfaces claramente definidas
- Envolvimento de um reduzido número de pessoas	- Envolvimento de um grande número de especialistas; tarefas bem divididas
- Requerida abordagem holística	- Otimização detalhada de importantes parâmetros de projeto
- Necessidade de profissionais generalistas	- Consideração intensa de aspectos de fabricação e montagem

Tabela 4.1 – Aplicabilidade dos Métodos CAE – *Computer Aided Engineering* – das fases do Projeto (Schelkle; Elsenhans, 2001)

Como exposto ao longo deste capítulo, notamos que a simulação passa a exercer um papel fundamental no processo de desenvolvimento de um novo veículo e deve ser encarada como uma das principais alternativas às necessidades de se reduzir tempo e custo nos ciclo de criação.

Atrelado à utilização da simulação, recomendamos a execução de projetos baseados no ciclo “Estabelecer Objetivos – Detalhar – Sintetizar – Confirmar” que estabelece uma seqüência lógica de atividades e favorece a utilização da prototipagem 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.

Estes tópicos serão apresentados mais detalhadamente nos capítulos a seguir.

5. CUSTO DA CERTEZA

Como mencionado em capítulos anteriores, a intensa busca por reduções no tempo e investimento necessários para o projeto e lançamento de um novo produto no mercado tem sido um dos objetivos básicos de todas as empresas do setor automobilístico.

Entretanto, esta busca por reduções no tempo e no investimento necessários nos ciclos de desenvolvimento, em função das exigências por parte dos mercados consumidores, deve estar aliada a melhores níveis de qualidade, desempenho e custos competitivos.

Desta forma, aliado à redução no tempo e recursos disponíveis para a execução de um novo projeto e às maiores exigências do mercado consumidor, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas que possibilitem o acesso à maior quantidade possível de informações e um maior nível de confiança no novo produto de forma rápida e antecipada.

As atividades relacionadas ao projeto e desenvolvimento de um novo produto são profundamente baseadas em informação. À medida que um novo veículo é projetado, grandes quantidades de informações e dados são requeridos, interpretados, analisados e transformados.

A consistência, precisão e disponibilidade desta informação 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 à 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. Segundo o autor, este custo deve corresponder proporcionalmente ao aumento da certeza quanto ao sucesso do

novo produto. Comenta ainda 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.

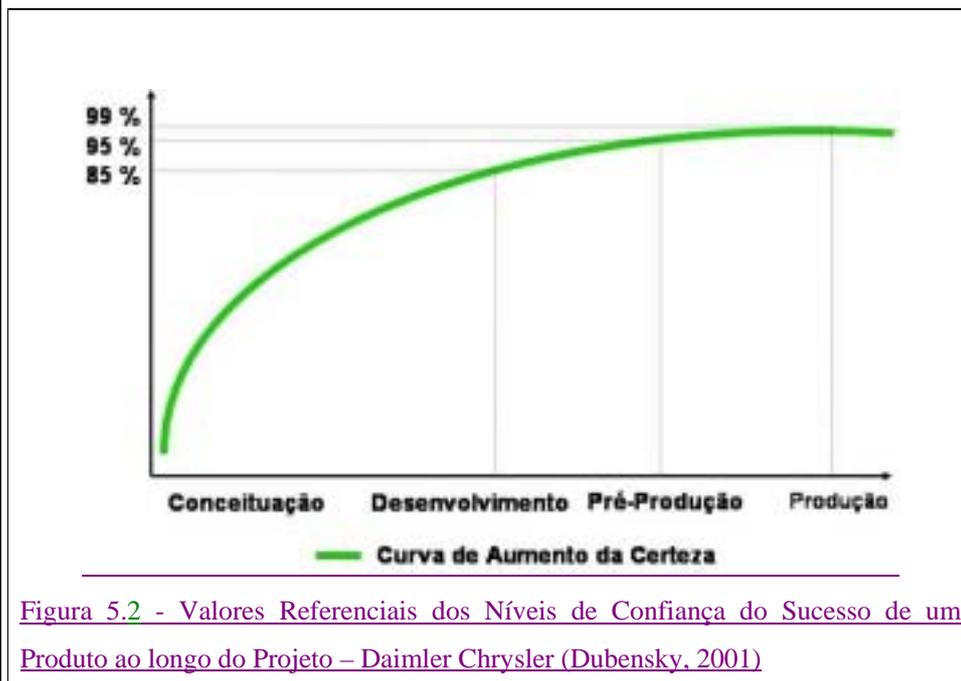
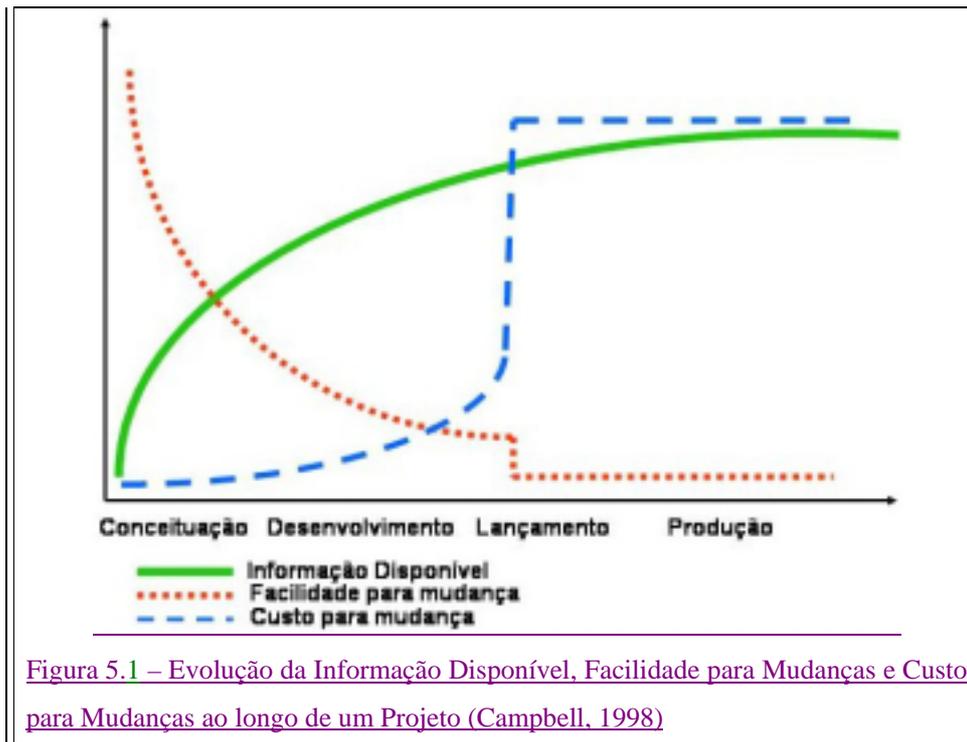
Em um projeto inovador sem referência prévia, o nível inicial de confiança pode ser próximo a zero. Em um projeto evolutivo e, portanto, sem grandes incógnitas, o nível de confiança inicial pode ser muito alto, até mesmo dentro do aceitável já em etapas iniciais do desenvolvimento.

Na figura 5.1, temos uma indicação referencial de como variam os níveis de conhecimento do produto, facilidade para mudanças e custos para efetuar estas mudanças ao longo do ciclo de projeto.

Como comentado anteriormente, 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.

Deste modo, fica claro quão importante é termos o nível de conhecimento e informações disponíveis do novo produto elevados o mais rápido possível de modo a permitir uma otimização do projeto e um aumento na certeza do produto, obtidos com menores custos, bem como a redução do ciclo de desenvolvimento.

Como referência, encontramos na figura 5.2 alguns valores para estes níveis aceitáveis de confiança do sucesso de um novo produto ao longo das fases do projeto.



Através dos métodos tradicionais de projeto e desenvolvimento de veículos baseados nos ciclos de “Projeto - Construção – Teste”, ou Tentativa e Erro, informações relevantes sobre o novo veículo só podiam ser obtidas após um ciclo completo de projeto, fabricação, montagem e teste de veículos protótipos.

Cada ciclo completo consumia, além de grande investimento financeiro, um longo e valioso período, normalmente algo ao redor de 12 a 16 meses, dependendo da complexidade do produto e testes realizados. Somente após a conclusão deste ciclo completo era possível uma revisão geral do projeto para correção de todas as discrepâncias apresentadas durante a fase de construção e testes iniciais, e a realização de um novo ciclo de construção e testes.

O processo tradicional demandava normalmente algo em torno de quatro a cinco anos entre o início do projeto e o lançamento do novo veículo, além de requerer grandes investimentos para fabricação de ferramentais, produção de componentes protótipos, montagem de veículos e realização de testes. Nele importantes decisões estratégicas necessárias nas fases de conceituação do novo veículo eram tomadas sem o embasamento ou conhecimento necessários do novo produto.

Decisões errôneas tomadas nesta 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, hoje, 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.

Podemos identificar esta mudança significativa na qualidade e na quantidade de informações disponíveis, bem como em uma 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. Na figura 5.3 apresentamos esta evolução.

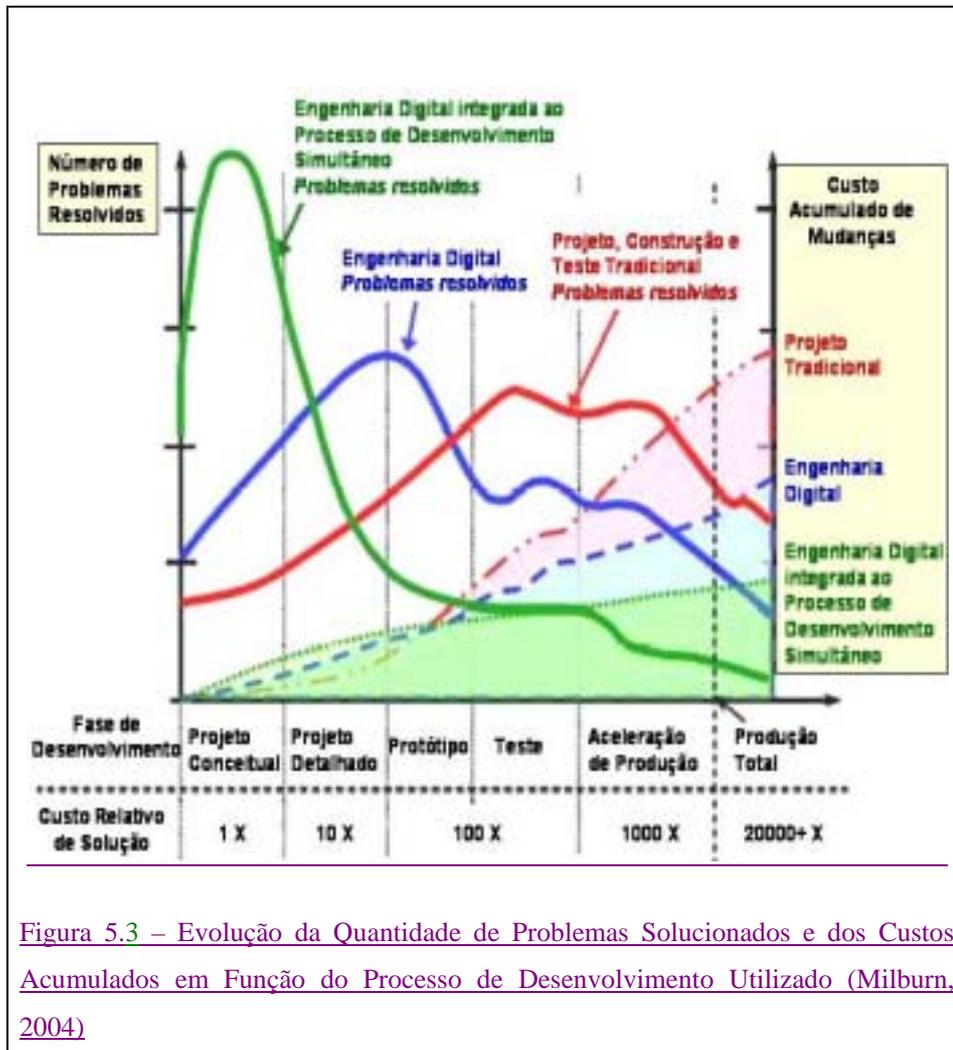


Figura 5.3 – Evolução da Quantidade de Problemas Solucionados e dos Custos Acumulados em Função do Processo de Desenvolvimento Utilizado (Milburn, 2004)

Em consenso com os autores pesquisados, reconhecemos a grande contribuição do uso de simulação e prototipagem virtual na redução do Custo da Certeza de um novo projeto.

Recomendamos a simulação e a prototipagem virtual como uma ferramenta obrigatória durante todo o processo de desenvolvimento, especialmente em etapas iniciais, após a fase de conceituação, onde sua contribuição é decisiva.

É inegável o grande benefício obtido através da utilização destes métodos de projeto e desenvolvimento através da simulação e prototipagem virtual na aquisição de dados e conhecimento do novo produto a menores custos. Esta situação se torna clara quando comparamos a realidade atual com os métodos tradicionais baseados em protótipos físicos e ciclos de “Tentativa e Erro”.

Concluimos também que, implicitamente, a redução do ciclo de desenvolvimento por si só já representa um grande avanço na obtenção de melhores níveis de confiança do novo projeto.

Baseamos esta conclusão na análise do ciclo de vida de um produto no mercado, do tempo necessário para sua substituição e do horizonte de pesquisa e identificação de oportunidades no mercado. O horizonte que se utiliza para esta pesquisa deve ser suficientemente longo de forma a conter um ciclo completo de desenvolvimento do produto a ser lançado. Assim, quanto menor este horizonte, menores as incertezas com relação aos resultados desta pesquisa de mercado, menores os riscos assumidos, e conseqüentemente melhores as chances de sucesso do novo produto.

6. O PAPEL DE ENGENHEIROS, PROJETISTAS E ANALISTAS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

Historicamente nas grandes empresas do setor automobilístico, montadoras e fornecedores, a estrutura funcional dos departamentos de Engenharia de Produtos apresenta-se apoiada em funções bem definidas a serem desempenhadas por projetistas, analistas e engenheiros.

Tradicionalmente o engenheiro tem como primeira responsabilidade a definição dos requisitos dos novos componentes, subsistemas e sistemas de modo a atender as necessidades estabelecidas para o novo veículo.

Como segunda atividade básica, tem ele a responsabilidade pela validação do projeto deste componente, subsistema ou sistema. E mais recentemente, como complemento desta segunda função, surge a responsabilidade pelas atividades relacionadas ao acompanhamento das simulações, desde a fase de conceituação até a validação final do produto. A execução das simulações é de responsabilidade dos analistas.

Ainda neste tipo de estrutura, temos como atividade principal dos projetistas a execução do projeto do componente, subsistema ou sistema traduzindo todos os requisitos estabelecidos pelo engenheiro para o formato de um desenho que será submetido a análises e simulações a serem conduzidas pelo grupo de analistas.

Neste tipo de organização, com funções separadas e muito bem estabelecidas, os projetistas, analistas e grupos de testes podem interagir entre si, porém esta interação ainda é extremamente restrita. Normalmente toda a comunicação e o fluxo de informações é estabelecido através do engenheiro, que serve como interface entre todas as demais áreas dentro da Engenharia de Produtos, bem como demais áreas da empresa.

Dois problemas principais podem ser identificados neste tipo de organização, o que leva a uma divergência das funções originalmente estabelecidas para os engenheiros de produto.

Primeiro a comunicação e o estabelecimento de direção a seguir entre líderes de projeto, projetistas, analistas e engenheiros envolvem um grande desperdício de tempo, o que contribui para o surgimento de um segundo problema caracterizado pelo desperdício atrelado à atividade dos engenheiros, que se apresentam como um elo de ligação entre todas as áreas envolvidas. Eles passam a funcionar como um ponto focal para o fluxo de informações ao invés de apresentarem-se como parte integrante do processo técnico de projeto, análise, desenvolvimento e validação, função esta inicialmente estabelecida como básica para o engenheiro.

Como a criação de um novo produto está intrinsecamente baseada no acesso, interpretação e transformação de informação, este projeto e desenvolvimento torna-se um complexo processo de gerenciamento de fluxo de informações que, como ressaltamos anteriormente, flui basicamente através dos engenheiros.

Analisando-se a introdução da simulação neste processo, e mais recentemente a tendência ou necessidade de antecipação do uso destas ferramentas virtuais no processo de desenvolvimento, notamos que estas atividades devem ser executadas sempre que possível juntamente com o nascimento do projeto em si, e não após a conclusão de um projeto inicial.

Seguindo-se esta tendência, defendida inclusive por alguns autores pesquisados como Brown (2002a) e Shih et all (1998), observamos que em algumas empresas está ocorrendo uma tentativa de fusão das funções de projetistas, analistas e engenheiros, hoje distintas e dependentes, sob a denominação de Engenheiro de Projeto cujas atribuições propostas estão apresentadas na tabela 6.1, juntamente com uma apresentação das funções dentro da atual estrutural organizacional.

Engenheiro	<ul style="list-style-type: none"> - Ponto Focal para o fluxo de informações - Conhecimento profundo do produto - Conhecimento dos processos de fabricação e montagem - Definição dos requisitos do produto - Suporte à simulação e validação do produto - Controle de custos e cronogramas de projeto
Projetista	<ul style="list-style-type: none"> - Execução do projeto de acordo com os requisitos estabelecidos pelo engenheiro
Analistas	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento e validação de modelos para simulação - Execução da análise e validação virtual do produto a partir do projeto desenvolvido pelo projetista
Engenheiro de Projeto	<ul style="list-style-type: none"> - Conhecimento profundo do produto - Conhecimento dos processos de fabricação e montagem - Definição dos requisitos do produto - Execução do projeto de acordo com os requisitos - Execução da análise e validação virtual do produto a partir do projeto - Desenvolvimento e validação de modelos para simulação - Controle de custos e cronogramas de projeto

Tabela 6.1 – Atuais atividades dos engenheiros, projetistas e analistas em comparação às atribuições propostas para o engenheiro de projeto

Primeiramente, esta redefinição de atividades e responsabilidades refere-se a uma participação mais efetiva de projetistas no processo de desenvolvimento, com a condução de análises e simulações em avançado.

Estas análises e simulações avançadas passariam a ser executadas pelos próprios projetistas, simultaneamente à fase de concepção do projeto do componente, otimizando tempo e ciclos de análise e re-projeto.

Como ponto favorável a esta abordagem temos ganhos relacionados ao fato de que quando projeto e análise são conduzidos simultaneamente, resultados e aprendizados são aplicados imediatamente ao produto.

Outro ponto favorável a esta tendência é representado pelo grande conhecimento e familiaridade ao produto, o que torna mais fácil a geração de propostas e execução de alterações.

Obviamente esta transformação envolve não somente aspectos de treinamento técnico, iniciando por fundamentos de engenharia e ferramentas de simulação, mas também culturais. Estes projetistas passariam a ter um campo de atuação muito mais amplo, sendo inclusive responsáveis por incorporarem em fases de conceituação requisitos de diversas áreas como manufatura, ferramental, fabricação, montagem e serviços, além da necessidade de uma visão mais ampla do produto e não apenas do componente sob sua responsabilidade.

Temos também como base para esta transformação um esforço em se encorajar projetistas a efetuarem as perguntas certas aos analistas e contribuir com um melhor entendimento de requisitos geométricos, funcionais e de manufatura, o que representa uma mudança comportamental, e que normalmente apresenta grandes desafios e barreiras a serem vencidos.

Do ponto de vista dos analistas, as alterações funcionais também são significativas, uma vez que eles passariam a ser responsáveis pelo desenvolvimento do projeto do componente e não a análise e simulação a partir de um modelo já disponível. O conhecimento de aspectos funcionais do produto em si, fabricação e serviço, entre outros, também passam a ser mandatórios para a boa execução de sua atividade.

Devem ser ressaltados também os aspectos relacionados ao controle de custos e cronogramas de projeto e desenvolvimento, hoje sob responsabilidade do engenheiro.

Da mesma forma, os autores Brown (2002a) e Shih et all (1998) indicam como sendo de grande valia para a otimização do ciclo de desenvolvimento a real utilização do engenheiro em atividades relacionadas ao projeto e desenvolvimento do produto, e não sua sub-utilização como ponto focal no fluxo de informações e comunicação entre as diversas áreas.

Os avanços tecnológicos ocorridos em termos de equipamentos e programas, o desenvolvimento de procedimentos padronizados para realização de análises e simulações e a criação de bibliotecas com modelos e rotinas padronizadas para

análise podem ser apontados como facilitadores neste processo de transição para engenheiros, projetistas e analistas.

Assim, como apresentamos ao longo deste capítulo, há muitas vantagens em termos um engenheiro de projeto responsável por executar toda a definição de requisitos, projeto, análise e pré-validação virtual, tendo ainda pleno conhecimento deste produto em termos de funcionamento, manufaturabilidade, serviços, e ainda sendo responsável pelo cumprimento dos cronogramas e custos estabelecidos para este desenvolvimento.

Porém reconhecemos que, independentemente de todos estes avanços, a tarefa de conduzir análises além dos níveis básicos e aplicações comuns e rotineiras pode requerer, e normalmente requer, experiência e conhecimento. Assim, ainda é necessária a utilização do grupo de analistas para a realização de simulações e análises mais complexas.

Concluimos também que a presença de analistas especializados é e continuará sendo necessária para o desenvolvimento e a validação de modelos para sistemas ou fenômenos novos ou ainda desconhecidos.

Desta forma, apesar de alguns autores indicarem esta tendência de fusão de atividades por parte de projetistas, analistas e engenheiros, não consideramos que esta fusão seja realmente necessária.

Em nossa análise, o resultado desejado desta fusão de atividades pode ser plenamente atingido com a participação simultânea e efetiva de engenheiros, projetistas, analistas e engenheiros de testes, trabalhando em conjunto no estabelecimento de requisitos e compartilhando experiências e conhecimento desde as fases de conceituação do produto sem que para isto seja necessária uma profunda reestruturação organizacional das empresas.

7. ESTUDO DE CASOS

Em complemento à exposição apresentada nos capítulos anteriores, passaremos a relatar agora alguns casos reais de como o processo de desenvolvimento de novos veículos tem sido revolucionado através da introdução destes novos conceitos e tecnologias ao longo dos últimos anos, atuando de forma decisiva na redução de tempo e custo de projeto.

Desta forma, como primeiro exemplo vamos expor uma comparação entre dois projetos executados recentemente pela General Motors do Brasil, abordando principalmente aspectos relacionados ao tempo de execução do projeto, a partir da definição de estilo até o lançamento no mercado, e ao número total de protótipos construídos.

Para se ter a correta referência, algumas informações básicas são encontradas na tabela 7.1.

Deve ser ressaltado que apesar do Projeto A contemplar também o desenvolvimento do produto para atender o mercado europeu, para termos uma base correta de comparação, todas as atividades exclusivamente relacionadas a este mercado foram desconsideradas nesta análise.

Além disto, apresentamos a seguir na figura 7.1 um cronograma geral mostrando como estes projetos foram desenvolvidos desde a definição do estilo do veículo até o seu lançamento no mercado.

	Projeto A	Projeto B
Período de execução	1999 a 2002	2003 a 2005
Conteúdo	- Novo modelo de veículo - Conjunto mecânico: derivado de produto existente - Arquitetura elétrica: derivada de produto existente - Carroceria: novo desenvolvimento	- Novo modelo de veículo - Conjunto mecânico: derivado de produto existente - Arquitetura elétrica: derivada de produto existente - Carroceria: novo desenvolvimento
Mercados a serem atendidos	Brasil, Mercosul, México, Europa	Brasil, Mercosul, México
Processo de desenvolvimento e validação	- Desenvolvimento e validação baseados em protótipos físicos - Modelos para simulação e prototipagem virtual desenvolvidos e validados ao longo deste projeto	- Desenvolvimento inicial realizado através de simulação e prototipagem virtual - Validação realizada através de protótipos e testes físicos

Tabela 7.1 - Dados de referência para análise comparativa entre dois projetos desenvolvidos pela General Motors do Brasil

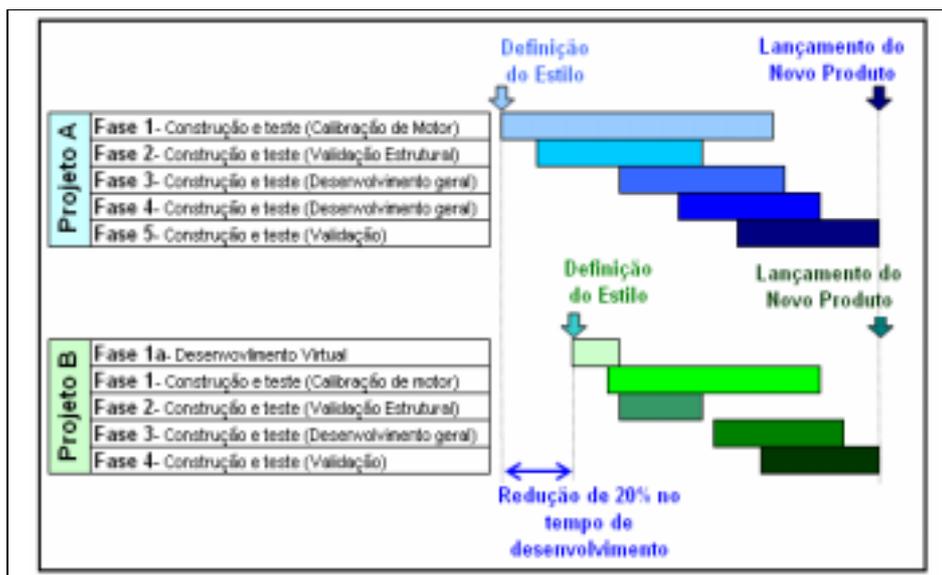


Figura 7.1 – Comparação entre projetos recentes realizados pela General Motors do Brasil

Analisando estas informações podemos notar que com a introdução da simulação e prototipagem virtual nas fases de conceituação e desenvolvimento inicial foi possível a eliminação de uma fase completa de construção e testes de protótipos físicos. Quanto à duração do projeto também identificamos uma redução de 20% do tempo total consumido deste a definição do estilo do novo produto até o seu lançamento no mercado.

Através de uma análise mais detalhada de cada uma das fases destes projetos focando apenas nas atividades relacionadas à validação do produto quanto aos aspectos de durabilidade também identificamos uma redução de 65% na quantidade de protótipos construídos exclusivamente para a realização de testes de durabilidade. Esta otimização representa uma redução aproximada de dez mil horas destinadas diretamente à construção dos veículos e outras vinte e cinco mil horas destinadas à realização dos testes, além da eliminação da necessidade de se rodar mais de quatrocentos mil quilômetros com estes veículos. Em termos financeiros, toda esta otimização representa uma economia aproximada de oito milhões de reais.

Em uma análise similar aplicada às atividades de desenvolvimento e validação do produto com relação ao seu desempenho quanto a testes de impacto, a redução da quantidade de protótipos construídos foi da ordem de 35%, o que significa uma economia de cinco milhões de reais e aproximadamente dez mil horas de trabalho destinadas à construção dos veículos.

Ampliando esta análise para todas as atividades destinadas ao desenvolvimento e validação dos produtos A e B chegamos a uma redução na ordem de 42% dos protótipos construídos, o que representa uma economia ao redor de trinta milhões de reais e sessenta e cinco mil horas de trabalho, apenas levando-se em consideração os recursos destinados à construção dos veículos. Estes dados estão mais detalhadamente apresentados na tabela 7.2.

Concluimos assim que, através da introdução da simulação e prototipagem virtual no processo de desenvolvimento de novos veículos, principalmente nas fases iniciais, ao longo dos últimos cinco anos o ciclo de projeto na indústria automobilística nacional apresentou uma sensível redução na quantidade total de

protótipos físicos requeridos, como apresentado tabela 7.2, além de uma considerável redução no tempo total do projeto.

Foco Principal	Fases				
	1	2	3	4	5
	Calibração de Motor	Validação Estrutural	Desenvolvimento Geral	Desenvolvimento Geral	Validação
Redução da quantidade de Protótipos entre os Projetos A e B (%)	20	68	100	35	20
Redução da quantidade de horas destinadas à construção de protótipos	5000	10000	34000	9000	7000
Redução de gastos para construção de protótipos (R\$)	1.500.000,00	5.000.000,00	16.000.000,00	4.000.000,00	3.500.000,00

Tabela 7.2 – Redução de gastos por fase com a construção de protótipos entre projetos recentes realizados pela General Motors do Brasil

Pode-se ainda recorrer à bibliografia disponível para analisar mais um caso significativo.

Campbell (1998) expõe alguns dados importantes expressos na figura 7.2 e que atestam esta evolução, principalmente no que tange à utilização de simulação pela Ford Motor Company: “Este processo de simulação agressiva ou prototipagem virtual não acontece de forma rápida, mas apresenta efeitos relevantes relacionados à redução de custos e tempo de desenvolvimento. A Ford Motor Company reportou na Conferência de Prototipagem Virtual de 1996 que em um período de 10 anos ela passou de 7% de análises completas para auxiliar a montagem e os testes de protótipos para mais de 95%. Hoje a Ford requer uma aprovação dos grupos de simulação para seguir o desenvolvimento de qualquer componente. Neste mesmo

período a Ford reduziu o tempo para elaboração de modelos de três meses para uma semana”. Como resultado, foi obtida uma economia de quarenta e um milhões de dólares com gastos relacionados à construção de protótipos físicos e a eliminação de uma fase de protótipos.

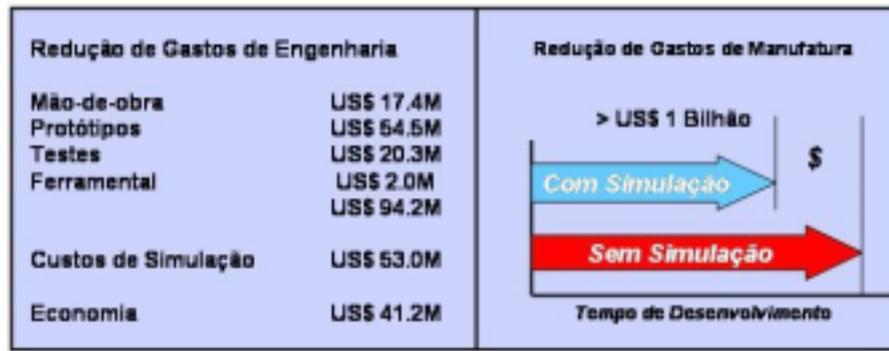


Figura 7.2 – Redução de Despesas em Três Grandes Programas Através da Utilização de Simulação – Ford Motor Company (Campbell, 1998)

Além da influência direta nas atividades de desenvolvimento e validação, a utilização da simulação e prototipagem virtual também proporciona vantagens quanto à elaboração de desenhos de componentes e lista de peças do produto final.

Elaborando o protótipo virtual conforme seqüência de montagem pretendida para o produto final, é possível também a obtenção automática da lista de peças deste produto simultaneamente ao término do projeto, bem como uma grande redução no tempo de execução dos desenhos de componentes e sistemas.

Na figura 7.3 apresentamos uma estimativa da redução de tempo obtida através da aplicação destes métodos na elaboração dos protótipos virtuais, como indicado em outra bibliografia pesquisada.

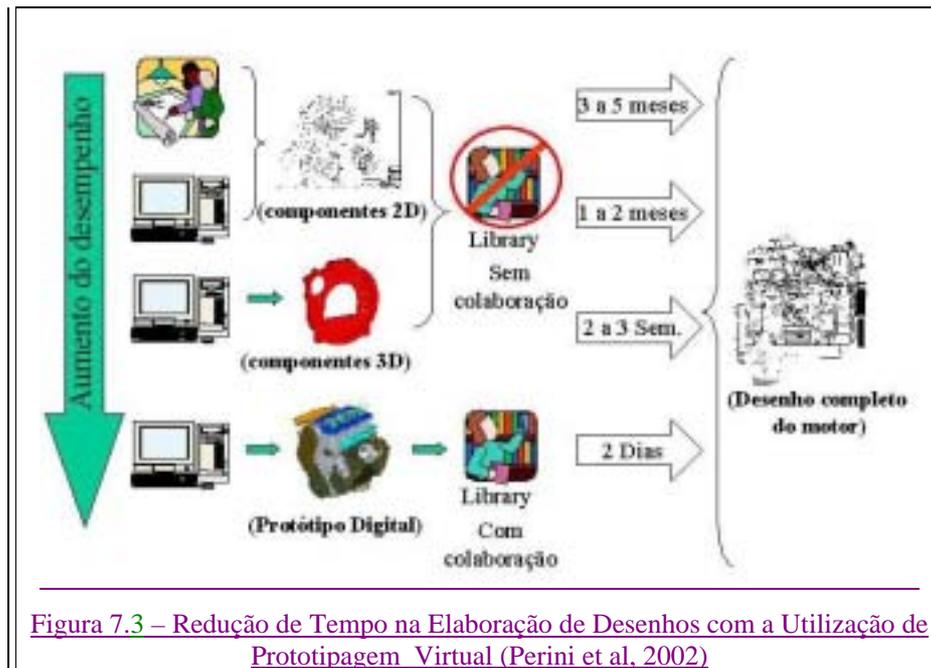


Figura 7.3 – Redução de Tempo na Elaboração de Desenhos com a Utilização de Prototipagem Virtual (Perini et al, 2002)

8. CONCLUSÃO

Como exposto ao longo deste trabalho, o processo de desenvolvimento de um novo produto na indústria automobilística mundial tem sofrido uma série de transformações ao longo do tempo, desde seu surgimento até os dias atuais.

Nos últimos anos, a necessidade de transformações radicais intensificou-se no cenário automobilístico mundial, motivada pela maior concorrência entre os diversos fabricantes e os maiores níveis de desempenho e qualidade exigidos por parte do mercado consumidor.

Aliada a esta necessidade de mudanças no processo de desenvolvimento, temos a identificação de um agente facilitador: o grande desenvolvimento e massificação da capacidade computacional, além da sensível redução nos custos relacionados à aquisição destas novas tecnologias.

Em função desta capacidade computacional cada vez mais disponível e da intensa competição mundial no setor automobilístico, passa a ser uma questão de sobrevivência a busca por novos processos de desenvolvimento que resultem em um produto com maior qualidade, preço competitivo, desempenho adequado às necessidades do mercado, e que tenha sido gerado em tempo e custo de desenvolvimento reduzidos.

Assim concluímos que não há mais espaço para produtos gerados através da tradicional metodologia de “Projeto – Construção – Teste”, ou Tentativa e Erro, consumindo tempo e recursos elevados. Vemos como impraticável a elaboração de um projeto baseado em um processo no qual todas as atividades de desenvolvimento, otimização e validação do novo produto estão alicerçadas em protótipos e testes físicos extremamente demorados e dispendiosos.

Como apresentado na tabela 7.2, a utilização da simulação e prototipagem virtual desde as fases iniciais do projeto, com especial foco no desenvolvimento e

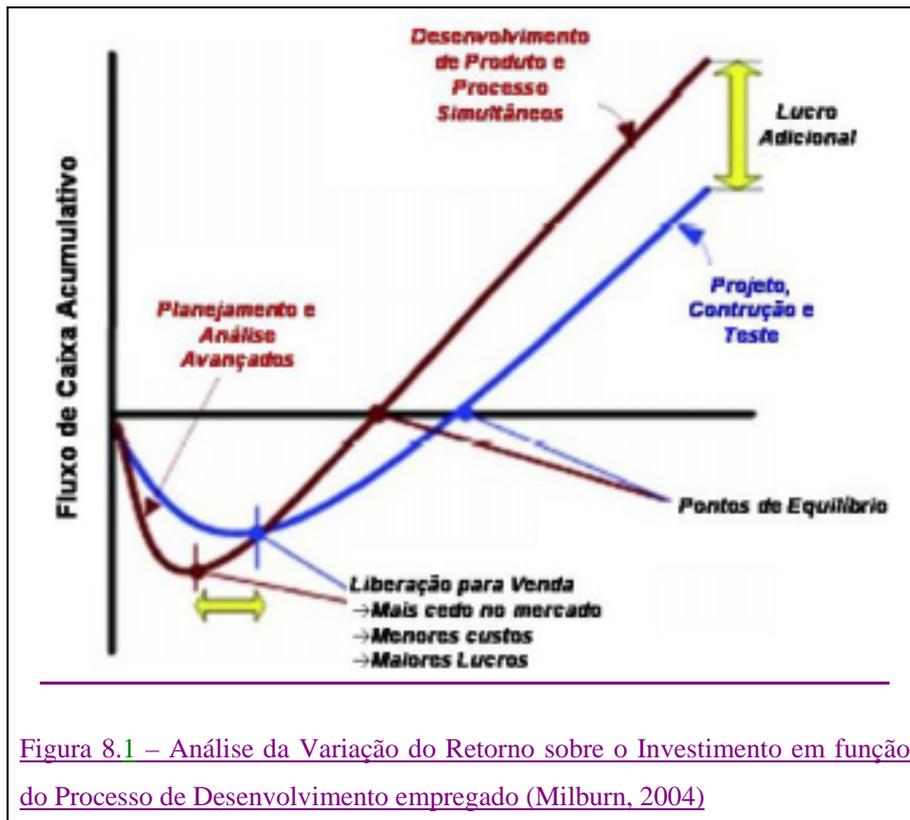
otimização do produto antes da construção do primeiro protótipo físico, passam a ser fundamentais na busca pela redução de tempo e custo deste processo.

Concluimos também que a implementação da seqüência de atividades sugerida por diversos autores pesquisados, composta por “Estabelecer Objetivo - Detalhar - Sintetizar - Confirmar”, contribui significativamente para o aumento da eficiência do processo de desenvolvimento de um novo produto, eficiência esta que definimos no Capítulo 3 como fazer a coisa certa, no momento certo, e utilizando o mínimo possível de recursos.

Como apresentamos na figura 5.3, o custo para realizar uma alteração no projeto na fase de conceituação é mil vezes menor do que na fase de aceleração de produção, o que demonstra a importância do correto estabelecimento dos requisitos do novo produto.

Assim, além da simulação e prototipagem virtual, entendemos também como fundamental a aplicação dos conceitos de Engenharia Simultânea em todo este processo, pois vemos como mandatória a participação efetiva de todas as áreas da empresa desde a fase de conceituação, apresentando seus requisitos no momento correto e contribuindo para o desenvolvimento de um produto adequado às necessidades para as quais está sendo concebido.

Tem-se assim uma conseqüente resposta favorável em termos de retorno sobre o investimento, conforme figura 8.1, 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.



Portanto, fica claro que para atingir ciclos completos de projeto em períodos cada vez menores, protótipos e testes físicos devem ser usados apenas para a validação final do produto. Todo o desenvolvimento deve ocorrer de forma virtual, com a participação efetiva de todas as áreas da empresa.

No âmbito nacional esta transformação vem ocorrendo de forma mais sensível a partir do final da década de noventa. Notamos um ambiente propício para esta mudança, porém ainda observamos insegurança na aceitação dos resultados obtidos de forma virtual, pois o aspecto comportamental ainda exerce grande influência sobre como os projetos são conduzidos.

Devemos reconhecer que já há consistência em muitos tipos de simulações e testes virtuais realizados atualmente no país, principalmente com relação à durabilidade, fadiga, impacto, refrigeração, vibrações entre outros, porém ainda necessitamos de desenvolvimento e massificação desta nova cultura. À medida que

os modelos utilizados atinjam um grau de confiança adequado, a consolidação desta mudança cultural torna-se mais fácil.

Acreditamos, entretanto, que a utilização de protótipos físicos deve continuar sendo necessária mesmo a médio e longo prazos, não somente para atividades de validação do produto virtualmente desenvolvido, mas também como suporte à elaboração de modelos de simulação relacionados a novos sistemas ou inovações tecnológicas e principalmente à avaliação de aspectos do produto intrinsecamente ligados à interação entre o homem e a máquina e às sensações humanas desta relação, como conforto, ergonomia, estilo, dirigibilidade e outros.

Quanto à tendência apresentada por diversos autores pesquisados de alterações estruturais relacionadas à fusão das atividades exercidas por engenheiros, analistas e projetistas, não consideramos isto como algo realmente necessário para conseguirmos processos mais eficientes de desenvolvimento.

Além das diversas barreiras culturais envolvidas, em nossa análise os benefícios esperados desta reestruturação podem ser alcançados através da participação efetiva e integrada de projetistas, analistas, engenheiros de teste e engenheiros de produto no processo de criação e desenvolvimento do novo veículo, compartilhando experiências e somando habilidades específicas de cada profissional, sem que para isto seja necessária uma drástica alteração estrutural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bokulich, F., **Automakers going digital.** Automotive Engineering Industry, Novembro de 2001.

a- Brown, D. H., **Super Designer: The Accelerating Drive for Change.** SAE World Congress, Detroit, Michigan, Março de 2002.

b- Brown, D. H., **Super Designer, Up Front CAE.** SAE World Congress, Detroit, Michigan, Março de 2002. SAE Technical Paper Series nº 2002-01-1243

Brown, D. H., **Teaming Across the Supply Chain for Up Front CAE.** Summary Activities and View – Super Designer Collaborative Research Program, Dezembro de 2001.

Campbell, Ronald M., **Analysis – When and When Not.** International Off-Highway and Powerplant Congress and Exposition, Milwaukee, Wisconsin, Setembro de 1998. SAE Technical Paper Series nº 982011.

GENERAL MOTORS CORPORATION. **Global Vehicle Development Process.** Disponível na intranet em <http://vdp.gm.com/gvdp> Acesso em 15 jul 2002.

Grote, P., Sharp, M., **Defining the Vehicle Development Process.** Fevereiro de 2001. Disponível em <[http://www.smartsim.org/Documents/Defining%20the%20Vehicle %20Development%20Process.pdf](http://www.smartsim.org/Documents/Defining%20the%20Vehicle%20Development%20Process.pdf)>, acessado em 15 de Dezembro de 2002.

Kamiski, P. C., **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade.** Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Primeira Edição, 2000.

Milburn, T. J., **The New Product Development Paradigm Led by Simulation and Testing.** SAE Commercial Vehicle Engineering Congress and Exhibition, Chicago, Illinois, Outubro de 2004. SAE Technical Paper Series nº 2004-01-2667.

Perini, R., Ferrari, S. L., Neves, F. L. C. S., **Utilização de Protótipo Virtual no Desenvolvimento e Aplicação de Motores Diesel.** Congresso SAE Brasil, São Paulo, Brasil, Novembro de 2002.

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

Rohde, S. M., **GM's Virtual Vehicle Revolutionizes Product Design.** Design Creation and Validation, Maio de 2002.

Rosenthal, S.R. **Effective Product Design and Development: how to cut lead time and increase satisfaction.** Homewood: Business One, Irwin, 1992.

Ryan, R. R., **Digital Testing in the Context of Digital Engineering - "Functional Virtual Prototyping"**, Fevereiro de 2001. Disponível em http://www.smartsim.org/Documents/Digital_Testing_in_the_Context_of_Digital_Engineering.pdf, acessado em 15 de Dezembro de 2002.

Schelkle, E. Elsenhans, H., **Virtual Vehicle Development in the Concept Stage – Current Status of CAE and Outlook on the Future.** 3° MSC Worldwide Aerospace Conference & Technology Showcase, Toulouse, França, Setembro de 2001.

Shih, S., Bennett, J., Baldwin, S., Basas, J., Somnay, R., **Product Development Cycle Time Reduction with FEA – A New Consideration.** International Truck & Bus Meeting & Exposition, Indianápolis, Indiana, Novembro de 1998. SAE Technical Paper Series n° 982805.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.ESCOLA POLITÉCNICA. SERVIÇO DE BIBLIOTECAS. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses – Serviço de Bibliotecas da EPUSP, 2ª.ed.** São Paulo, 2001.

Valério Netto, A., Penachio, A. M., Anitelle, A. T., **Virtual Reality Technology for the Automotive Engineering Area.** Congresso SAE Brasil, São Paulo, Brasil, Novembro de 2002. SAE Technical Paper Series n° 2002-01-3388.

Xu, Hong, **Concept and Concurrent Analysis and Optimization in a Product Design and Development Process.** International Truck & Bus Meeting & Exposition, Indianápolis, Indiana, Novembro de 1998. SAE Technical Paper Series n° 982808.

Zwaanenburg, K., **Integration of Physical and Virtual Prototypes.** SAE World Congress, Detroit, Michigan, Março de 2002. SAE Technical Paper Series n° 2002-01-1290.

Zorriassatine, F., Wykes, C., Parkin, R., Gindy, N., A Survey of Virtual Prototyping Techniques for Mechanical Product Development. I Mech E 2003.

Formatado: Título 1, À esquerda, Espaço Antes: 0 pt, Espaçamento entre linhas: simples