

Integração da prototipagem física no processo de desenvolvimento de produtos automotivos

Guilherme Canuto da Silva
guilhermecanuto@usp.br
Universidade de São Paulo

Paulo Carlos Kaminski
pckamins@usp.br
Universidade de São Paulo

Resumo

O processo de desenvolvimento de produto (PDP) é composto por etapas que evoluem no tempo e que integram ferramentas, métodos e tecnologias capazes de auxiliar na redução do tempo e dos custos de desenvolvimento. O design for manufacture and assembly (DFMA), o quality function deployment (QFD) são exemplos de ferramentas utilizadas no PDP. O computer aided design (CAD), o computer aided manufacture (CAM), a prototipagem virtual (PV) e a prototipagem física (PF) também podem ser citados como exemplos de tecnologias utilizadas no PDP. O objetivo deste trabalho é determinar a forma com que a prototipagem física está integrada no processo de desenvolvimento do produto. Para realizar este objetivo um modelo de referência do PDP é utilizado como apoio para identificação das etapas do PDP que utilizam protótipos físicos. Após a identificação no PDP, um estudo de caso é realizado, fundamentado em um modelo de PDP de uma montadora de automóveis europeia. Os resultados do estudo de caso são apresentados por meio de um comparativo entre o modelo de referência de apoio e o modelo de PDP utilizado pela montadora. Ulterior aos resultados apresentados se tem a conclusão e a finalização do trabalho.

Palavras-chave: Integração. Prototipagem física. Modelo de referência. Processo de desenvolvimento de produto.

Abstract

The product development process (PDP) consists of steps that evolve in time and integrate tools, methods and technologies that can assist in the reduction of time and development costs. Design for manufacture and assembly (DFMA) and quality function deployment (QFD) are examples of tools used in the PDP. Computer aided design (CAD), computer aided manufacture (CAM), virtual prototyping (VP) and physical prototyping (PF) can also be cited as examples of technologies used in the PDP. The objective of this work is to determine how physical prototyping is integrated into the product development process. To accomplish this goal a PDP reference model is adopted as support for the identification of the PDP stages using physical prototypes. After that, a case study is conducted, based on a PDP model of a European carmaker. The results of the case study are presented through a comparison between the support reference model and the PDP model used by the carmaker. The conclusion and finalization of the work follow the results.

Keywords: Integration. Physical prototyping. Reference model. Product development process.

1 Introdução

O processo de desenvolvimento de produto (PDP) é composto por etapas que evoluem no tempo e que integram ferramentas, métodos e processos capazes de auxiliar na redução do tempo e dos custos de desenvolvimento. A prototipagem física (PF) é uma tecnologia de auxílio ao PDP e é utilizada em etapas e momentos específicos do desenvolvimento de produtos. O objetivo deste trabalho é determinar a forma com que a prototipagem física está integrada no processo de desenvolvimento do produto. Para realizar este objetivo um modelo de referência do PDP é utilizado como apoio para identificação das etapas que necessitam de protótipos físicos. Após a identificação destas etapas no PDP, um estudo de caso é realizado, fundamentado em um modelo de PDP de uma montadora de automóveis europeia.

1.1 Processo de desenvolvimento do produto (PDP)

De acordo com Rozenfeld et al (2006) o desenvolvimento de produtos consiste em um conjunto de atividades onde se busca, a partir das necessidades do mercado e considerando as possibilidades, restrições tecnológicas e as estratégias competitivas da empresa, chegar às especificações para o projeto de um produto capaz de ser manufaturado.

Em um primeiro nível, as empresas transformam a matéria prima e outras entradas em processos organizados, baseados em uma divisão laboral, em produtos e serviços que podem ser vendidos no mercado (PRIES; SCHWEER, 2004).

1.2 Principais etapas do PDP

De acordo com o modelo de referência de Rozenfeld et al (2006) o processo de desenvolvimento de produtos é composto por três macro fases denominadas de pré-desenvolvimento; desenvolvimento e pós-desenvolvimento. As três macro fases estão subdivididas nas seguintes etapas:

- planejamento estratégico dos produtos;
- planejamento do projeto;
- projeto informacional;
- projeto conceitual;
- projeto detalhado;
- preparação para produção;
- lançamento do produto;
- acompanhamento do produto/processo;
- descontinuar o produto.

Na figura 1 é possível associar as etapas de desenvolvimento com as três macro fases do PDP.

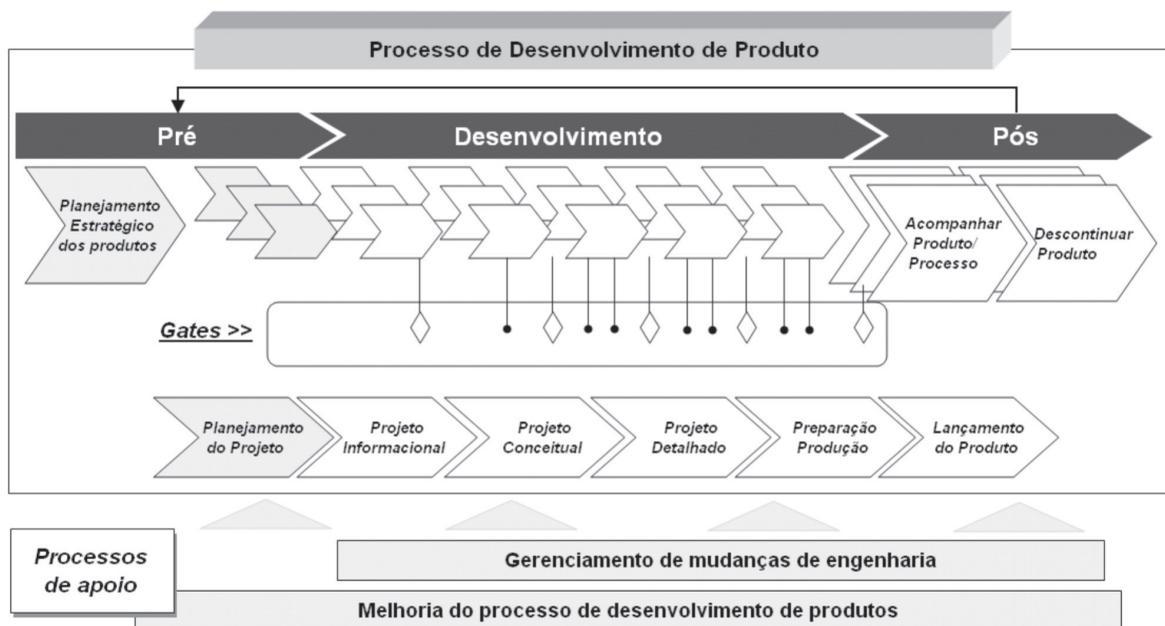


Figura 1: Modelo de referência de PDP.

Fonte: ROZENFELD et al (2006).

A etapa de planejamento do projeto tem início com a definição dos interessados, que podem manifestar ou sofrer influências relativas ao projeto tanto ao longo de seu planejamento, como em sua realização e mesmo após sua conclusão.

A etapa do projeto informacional se inicia com a atualização do plano do projeto informacional, de modo que este plano seja compatível com o planejamento geral feito na etapa anterior. Posteriormente, se tem a definição do problema de projeto do produto, para que se tenha uma compreensão clara e completa do problema de projeto.

A etapa do projeto conceitual se inicia com a atualização do plano do projeto conceitual, de maneira a manter uma compatibilidade com o planejamento geral feito na fase de planejamento do projeto. No início da etapa do projeto conceitual, o produto é modelado funcionalmente e descrito de uma forma abstrata, independentemente de princípios físicos.

Ao final da etapa do projeto conceitual se tem a concepção do produto. Subseqüentemente se tem as etapas de preparação para a produção do produto e o lançamento do produto no mercado.

1.3 Prototipagem física (PF)

De acordo com Zorriassatine et al (2003) a prototipagem física (PF) é um conjunto de técnicas e processos que concebe peças para diversos propósitos como: análise ergonômica; estética; montagem; testes funcionais; entre outras aplicações. Os protótipos físicos podem ser fabricados em diferentes materiais como madeira, argila (*clay*), resinas ou metal, isto porque dependendo da sua aplicação, os protótipos físicos não precisam possuir as mesmas características ou propriedades do produto final.

Entre os diversos processos de PF atualmente utilizados se tem os processos de *rapid prototyping* (RP) ou prototipagem rápida (RP) e de *rapid tooling* (RT) ou ferramental rápido (RT).

Os processos de prototipagem rápida (RP) são um conjunto de tecnologias que utilizam o princípio de sobreposição de camadas de um determinado material, a partir das informações matemáticas de um modelo gerado em sistema CAD, de forma a compor o produto final, conforme as necessidades de uso e aplicação (KAI; JACOB; MEI, 1997; PHAM; GAULT, 1998; UPCRAFT; FLETCHER, 2003; SILVA; KAMINSKI, 2007; VOLPATO et al, 2007). Os principais processos de prototipagem rápida são a estereolitografia (SL), a sinterização seletiva a laser (SLS), a modelagem por fusão de deposição (FDM), a impressão a jato de tinta (IJP) e a impressão 3D (IJP-3D) (SILVA, 2008). Cada processo possui diferentes características quanto a custo, precisão, resistência mecânica e dimensões da peça protótipo.

A tabela 1 apresenta um sumário contendo os principais processos de prototipagem rápida supracitados.

Tabela 1: Principais processos de prototipagem rápida (RP).

Processo	Baseados em líquido			Baseados em Sólido		Baseados em Pó		
	3D Systems, Inc	Objet Geometries Ltd	3D Systems, Inc	Stratasys, Inc	3D Systems, Inc	3D Systems, Inc	EOS GmbH	Z Corporation
Tecnologia disponível	SL	IJP PolyJet	IJP Invision	FDM	IJP ThermoJet	SLS	EOSINT	3DP
Custo do protótipo	Alto	Médio	Baixo	Médio-Alto	Médio	Alto	Alto	Baixo
Precisão	Alta	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Baixa
Resistência mecânica	Média	Média	Baixa	Média	Baixa	Alta	Alta	Baixa
	508	336	298	600	250	381	700	508
Tamanho máximo de peças	X	X	X	X	X	X	X	X
	508	326	185	500	204	330	380	609
	X	X	X	X	X	X	X	X
	584mm	200mm	203mm	600mm	204mm	457mm	580mm	406mm

Fonte: Adaptado e atualizado de VOLPATO et al (2007) e SILVA (2008).

De forma análoga, os processos de ferramental rápido (RT) são processos tecnológicos que utilizam técnicas de prototipagem rápida para fabricar, de forma direta ou indireta, matrizes e moldes (CHUA; HONG; HO, 1999; ROOKS, 2002). A figura 2 mostra alguns dos processos de ferramental rápido segundo Rosochowski e Matuszak (2000).

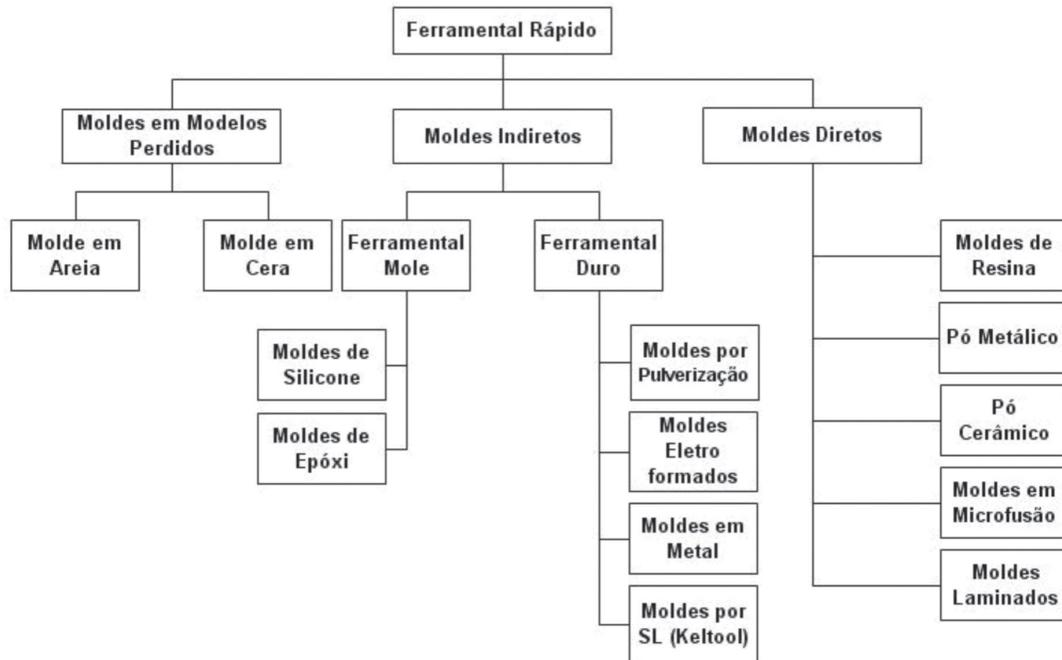


Figura 2: Processos de ferramental rápido.

Fonte: ROSOCHOWISKI e MATUSZAK (2000).

Outro processo de ferramental rápido comumente utilizado na fabricação de peças protótipo é o *vacuum bagging*. O *vacuum bagging* é um processo que ocorre em um meio ambiente de pressão negativa. O molde é envolvido por uma membrana ou invólucro de plástico a uma pressão acima de 100 kPa. Este valor de pressão pode ser considerado pequeno, mas ao considerar uma peça de dimensões equivalentes a 100 x 220mm sobre 558mm de mercúrio (76 kPa), isto pode ser traduzido em uma pressão de 22.000 kg de força uniformemente distribuída sobre a peça (REINFORCED PLASTICS, 1992). Com isto, a camada de material fica sob constante pressão na parede do molde. Existem três componentes essenciais neste processo. O vácuo, o calor e a pressão. A pressão compacta a camada de material sobre a superfície do molde; o vácuo retira o ar remanescente na estrutura do material e o calor contribui para a cura do material (COMPOSITE ABOUT, 2007).

Com o término da reação química e o endurecimento da resina, o conjunto é retirado do invólucro, a peça é removida do molde e é recortada de acordo com o contorno especificado em desenho (MACARRÃO JUNIOR; KAMINSKI, 2006). Após a retirada da peça do molde, a mesma é colocada sobre um berço ou gabarito durante o período de cura da resina, para evitar deformações na peça laminada. A figura 3 mostra a fabricação de uma peça protótipo de um automóvel pelo processo de *vacuum bagging*.



Figura 3. Processo de ferramental rápido *vacuum bagging*.

Fonte: SILVA (2008).

2 Integração da Prototipagem Física no Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP)

Os processos de prototipagem física variam de acordo com cada etapa do processo de desenvolvimento de produto e diferentes formas para a representação do produto são utilizadas. Nas etapas iniciais do PDP onde se tem diferentes concepções, formas, análise ergonômica e outras variáveis, vários tipos de representações tridimensionais do produto são utilizadas como, por exemplo, maquetes, modelos volumétricos, mock-ups, modelos de apresentação entre outros (Volpato et al, 2007). Nas etapas do projeto preliminar e do projeto detalhado, onde maiores informações do produto já estão disponíveis e definidas se tem o uso de protótipos funcionais, protótipos analíticos, sendo apresentados em sua totalidade ou parcialmente, conforme o assunto em análise ou tema para tomada de decisão. A figura 4 mostra os diferentes tipos de prototipagem física incorporados ou integrados¹ nas etapas do processo de desenvolvimento de produtos do modelo de referência.

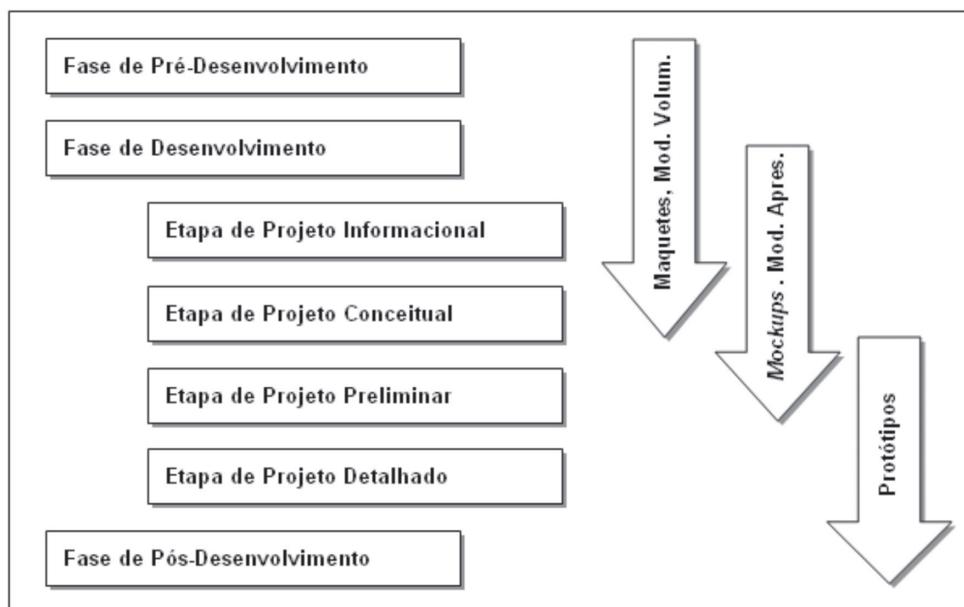


Figura 4: Fases e etapas do PDP e o uso de protótipos.

Fonte: VOLPATO et al (2007).

Com base na figura 4 e na definição determinada para modelo e protótipo na seção 1.3 pode-se aplicar ao modelo de referência a seguinte associação conforme mostrado na figura 5.

¹ De acordo com a definição de Ferreira (2004) a palavra integrar em sua forma de verbo pronominal tem como significado tornar-se parte integrante; incorporar-se.

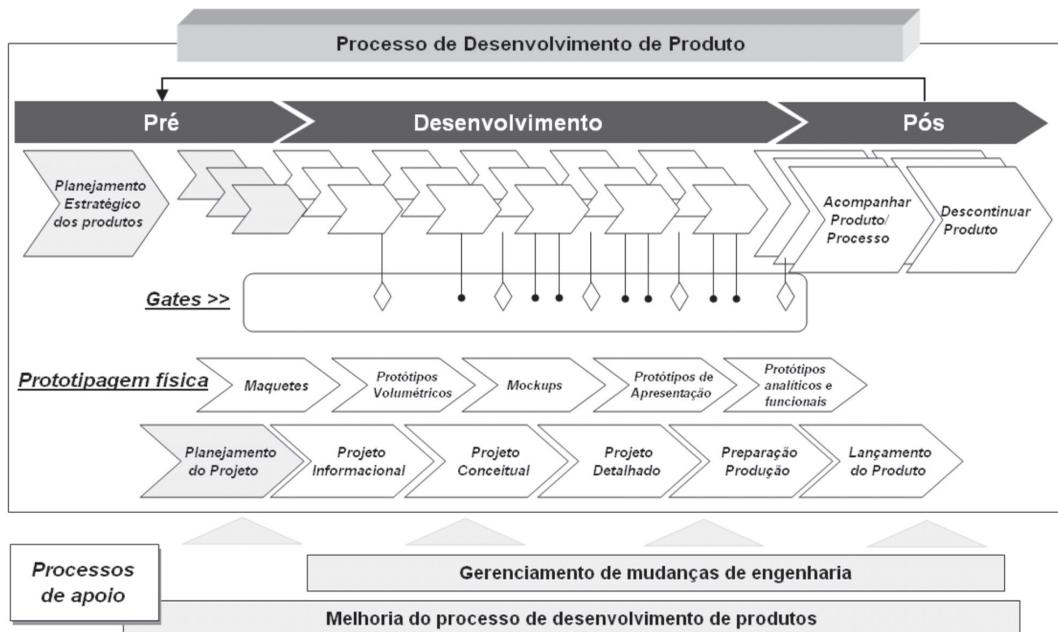


Figura 5: Modelo de referência de PDP adaptado pelo autor.
Fonte: ROZENFELD et al (2006).

Os diferentes tipos de protótipos físicos estão integrados nas três macro fases e etapas de desenvolvimento do produto.

3 Estudo de Caso

Para a realização do estudo de caso deste trabalho foi utilizado um modelo de processo de desenvolvimento de produto (PDP) de uma montadora de automóveis europeia. O modelo de PDP da montadora também está composto por três macro fases e etapas de desenvolvimento conforme descrito a seguir.

3.1 Desenvolvimento do conceito

No desenvolvimento do conceito se tem a etapa de início do planejamento do produto (PPS) com a implementação estratégica do produto, com o apoio de uma equipe composta por membros de todas as áreas corporativas denominado de *product team*² baseada na estratégia de marcas da montadora e do plano de vida do produto ou *cycle plan*³.

Na etapa de posicionamento (POS) se tem a confirmação das características do veículo com base no mercado. Com isto, um posicionamento antecipado do produto é obtido com o departamento de marketing. Também se confirmam às primeiras dimensões externas e ergonômicas e o portfólio de produtos da montadora.

Com base nas variantes e tendências dos conceitos seguintes, um fórum responsável pela aprovação do conceito delega o conceito escolhido para continuação do desenvolvimento e do estilo. Esta etapa intermediária é chamada de relatório de status do planejamento do produto (SBP).

O desenvolvimento do conceito é coordenado pelo planejamento do produto, que recebe informações do product team desde o início do planejamento (PPS) até a preparação estratégica do projeto (SP).

Uma vez atingida à etapa de definição do projeto (PD), o conceito com o *package freeze*⁴ da plataforma e agregados é aprovado com base na seleção de dois modelos de estilo. Na etapa de decisão do projeto (PE) o desenvolvimento do

² Product team é uma expressão do idioma inglês utilizada por esta filial de montadora que neste caso significa time de desenvolvimento do produto.

³ Cycle plan é uma expressão do idioma inglês utilizada por esta filial de montadora que neste caso significa o ciclo ou tempo de vida útil do modelo a ser produzido.

⁴ Package Freeze é uma expressão do idioma inglês que pode ser entendido como plataforma virtual do veículo incluindo sua estrutura modular.

conceito é finalizado com aprovação obrigatória do conceito do veículo. Nesta etapa, os modelos apresentados são avaliados, visando à capacidade de realização e execução técnica. É gerado um caderno de especificações do cliente. Os conceitos são transferidos para a organização de projeto do desenvolvimento de série e para os departamentos técnicos.

3.2 Desenvolvimento de série

No desenvolvimento de série, o modelo de estilo idealizado é detalhado junto ao caderno de especificações 1 (LH1) e definido no fórum de decisão de design (DE/LH1).

Posteriormente, o modelo escolhido sobre processamento no *strak*, ou descrição geométrica de superfície que serve como base para os protótipos de controle de dados (DKM) virtuais e físicos.

Nesta fase, o desenvolvimento e a formação dos veículos conceito são realizados de forma paralela utilizando cálculo e simulação para validação do projeto.

Na etapa de encaminhamento do primeiro protótipo virtual (VPT1) são realizadas as liberações P (Planungs-Freigabe) das peças (liberações de aquisição) e é feito o pedido de construção do primeiro protótipo físico.

As liberações P específicas de cada peça dão início à preparação dos meios e investimentos necessários para produção do veículo.

Após a aprovação do modelo de controle de dados digitais (DDKM), todos os elementos visíveis ao cliente são apresentados e anuncia-se o pedido de construção do modelo físico (DKM).

Os protótipos virtuais apresentados na etapa de decisão de estilo (DE/LH1) são encaminhados para construção de protótipos físicos e para a realização de testes. Com a aprovação do DKM ocorre a aprovação do modelo de controle de dados (DKM/LH2), do caderno de especificações 2 e paralelamente a liberação B (Beschaffungsfreigabe) dos desenhos de produto (liberações de planejamento).

Na liberação de lançamento (LF) é confirmada a qualidade e a disponibilidade de peças necessárias para a produção do veículo. Isto é feito para os processos seguintes, de acordo com o planejamento de implementação do veículo no mercado. Além disso, a liberação de lançamento (LF) também serve para definir medidas alternativas caso ocorra desvios no objetivo de lançamento da produção em série do veículo.

3.3 Preparação da produção em série

Durante a preparação da produção em série (pré-série) do automóvel, alguns veículos são montados nas fábricas-piloto com peças produzidas internamente em ferramentais definitivos e por fornecedores nesta mesma condição para liberação da série (VFF).

As etapas de teste da produção (PVS) e série zero (OS) são realizadas utilizando os meios de produção disponíveis em condições de produção em série do automóvel.

Para que a produção possa ser assegurada em qualidade e quantidade, os parâmetros de produção são verificados em um instante chamado de produção de dois dias. O instante para esta produção ocorre de acordo com o escopo, o processo, os pré-produtos e as instalações; da mesma forma com relação à quantidade, a duração e o prazo. O início da produção em série do veículo só é autorizado quando o nível de qualidade exigido pela garantia da qualidade é atingido.

Os veículos produzidos na pré-série são utilizados para confirmar o nível de qualidade e testes de homologação. Finalmente, após a aprovação da companhia, a liberação da série é realizada e tem-se o início da produção definitiva do volume a ser introduzido no mercado.

3.4 Sumário do processo de desenvolvimento de produtos da montadora

O processo básico de desenvolvimento de produtos da montadora com as três macro fases e etapas de desenvolvimento pode ser apresentado de acordo com o sumário a seguir.

Desenvolvimento do conceito (PPS até PE)

- Início do planejamento do produto (PPS)
- Posicionamento (POS)

- Relatório de status do planejamento do produto (SBP)
- Preparação estratégica do projeto (SP)
- Definição do projeto (PD)
- Decisão do projeto (PE)

Desenvolvimento de série (PE até LF)

- Decisão de estilo e caderno de especificações 1 (DE/LH1)
- Primeiro protótipo virtual (V1PT)
- Com liberações de planejamento (liberação P)
- Modelo de controle de dados digital (DDKM)
- Modelo de controle de dados /caderno de especificações 2 (DDKM/LH2)
- Com liberação de aquisição (liberação B)
- Liberação de lançamento (LF)

Preparação de série (LF até SOP)

- Início da série de teste de produção (PVS)
- Início da série zero (OS)
- Início da produção (SOP)
- Introdução no mercado (ME)

Silva (2008) apresenta de forma similar a Rozenfeld et al (2006) o processo de desenvolvimento de produtos da montadora conforme mostrado na figura 6.

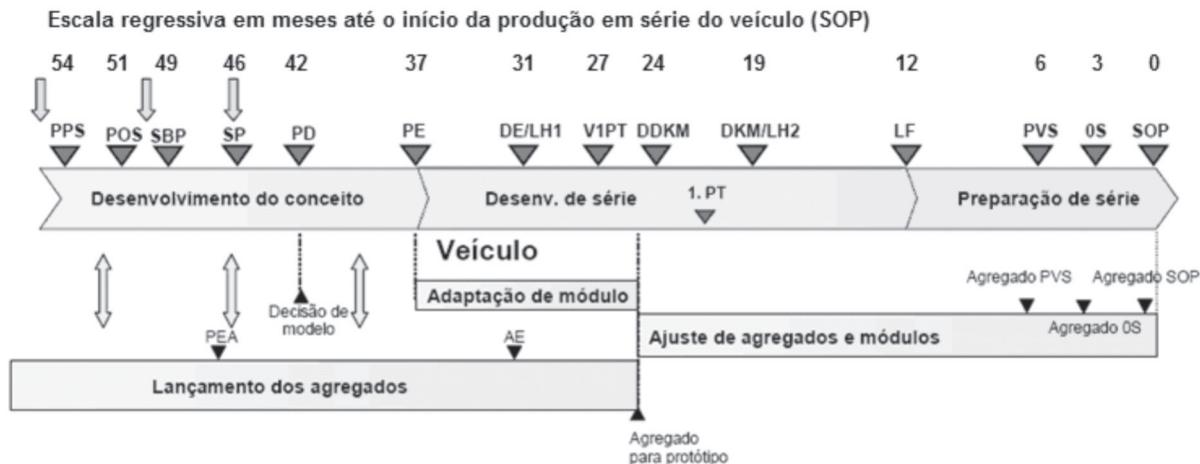


Figura 6: Processo de desenvolvimento de produtos de uma montadora europeia.

Fonte: KRUSCHWITZ e DUSKE (2004) apud SILVA (2008).

Com base na representação Kruschwitz e Duske (2004) apud Silva (2008) e considerando também os processos de prototipagem física demonstrados na figura 4 de Volpato et al (2007), pode-se representar o processo de desenvolvimento de produto da montadora conforme mostrado na figura 7.

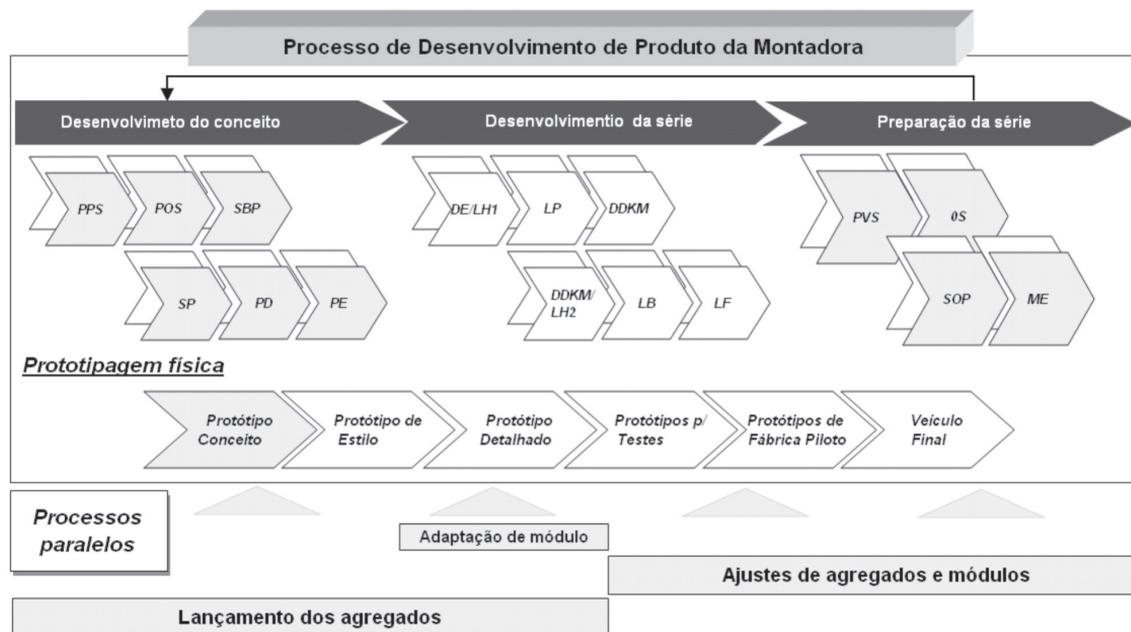


Figura 7: Processo de desenvolvimento de produtos de uma montadora europeia.

Fonte: adaptado de ROZENFELD et al (2006).

As três macro fases estão descritas abaixo da caixa de título do quadro. As etapas do processo de desenvolvimento estão demonstradas de acordo com as siglas apresentadas no sumário da seção 3.4. Os processos de prototipagem física estão demonstrados abaixo das etapas de desenvolvimento.

4 Apresentação dos Resultados

Os resultados a serem apresentados estão organizados em um comparativo entre as macro fases do modelo de referência e do modelo de PDP da montadora. Integrados as macro fases de ambos os processos de desenvolvimento de produtos estão os processos de prototipagem física.

4.1 Comparativo entre as macro fases do modelo de referência e o PDP da montadora

Neste comparativo é possível observar a similaridade entre o modelo de referência de Rozenfeld et al (2006) e o processo de desenvolvimento de produtos da montadora conforme mostrado por Silva (2008). Ambos os PDP possuem três grandes fases de desenvolvimento sendo:

- pré-desenvolvimento ou desenvolvimento inicial do produto com base nas informações de mercado e na análise do portfólio de produtos da empresa, neste caso a montadora;
- desenvolvimento detalhado do produto e preparação dos processos e meios necessários para a sua fabricação;
- pós-desenvolvimento ou produção de série do produto introduzindo o mesmo no mercado, analisando as informações de marketing e planejando a sua descontinuação.

4.2 Integração da prototipagem física conforme as macro fases do modelo de referência e o PDP da montadora

O comparativo de integração dos processos de prototipagem física no modelo de referência de Rozenfed et al (2006) e no PDP da montadora está apresentado no quadro 1. Acrescido a este comparativo são sugeridos pelos autores alguns dos processos de prototipagem física apresentados na seção 1.3 possíveis de serem utilizados.

Para associar os processos de prototipagem física as respectivas macro fases dos modelos foram considerados os seguintes critérios básicos:

- precisão do protótipo: entende-se que nas fases iniciais do desenvolvimento do produto seja necessário que o protótipo físico a ser construído tenha uma boa precisão, a fim de representar da melhor forma possível, o produto a ser desenvolvido posteriormente;
- tamanho do protótipo: quanto maior for a capacidade volumétrica de construção do protótipo, menor será a necessidade de pós-processamento das peças obtidas. O pós-processamento é uma etapa onde, de acordo com as necessidades do produto a ser representado, o mesmo tenha que ser construído em partes e depois montado, geralmente por um processo de colagem. Isto interfere e diminui a precisão dimensional do protótipo.

Com isto exposto, os processos que atendem aos critérios básicos supracitados também estão identificados no quadro

1.

Quadro 1: Integração dos processos de prototipagem física no modelo de referência e no PDP

Processo de Desenvolvimento de Produtos do modelo de referência				Processo de Desenvolvimento de Produtos da montadora			
macro fases	etapas	protótipos utilizados	processo de PF sugerido	macro fases	etapas	protótipos utilizados	processo de PF sugerido
Pré-Desenv.	planejamento estratégico do produto; planejamento do projeto.	maquetes	(SL)	Desenv. do Conceito	início do planejamento do produto (PPS); posicionamento (POS); relatório de status do planejamento do produto (SBP); preparação estratégica do projeto (SP); definição do projeto (PD); decisão do projeto (PE).	protótipo conceito; protótipo de estilo	(SL)
Desenv.	projeto informacional; projeto conceitual; projeto detalhado; preparação da produção.	protótipos volumétricos; mockups; protótipos de apresentação; protótipos analíticos e funcionais.	FDM; 3DP; SL; EOSINT; Vacuum Bagging.	Desenv. de Série	decisão de estilo e caderno de especificações 1 (DE/LH1); primeiro protótipo virtual (V1PT); modelo de controle de dados digital (DDKM); modelo de controle de dados e caderno de especificações 2 (DDKM/LH2); liberação de lançamento.	protótipo detalhado; protótipo para testes; protótipos de fábrica piloto.	FDM; 3DP; SL; EOSINT; Vacuum Bagging.
Pós-Desenv.	lançamento do produto; acompanhar produto/processo; descontinuar produto.			Prep. de Série	início da série de teste de produção (PVS); início da série zero (OS); introdução no mercado (ME).	protótipos de fábrica piloto.	FDM; 3DP; SL; EOSINT; Vacuum Bagging.

Conforme exposto na seção 4.1 tanto no modelo de referência de Rozenfeld et al (2006) como no PDP da montadora se tem um pré-desenvolvimento do produto, um desenvolvimento detalhado do produto e um pós desenvolvimento ou produção de série do produto.

Da mesma maneira o uso dos protótipos físicos em ambos os processos de desenvolvimento de produtos são utilizados para representar as primeiras idéias do produto em seu estágio inicial de desenvolvimento.

Na macro fase de desenvolvimento detalhado, onde maiores informações sobre o produto já estão disponíveis os protótipos físicos são utilizados para testes e análises funcionais.

Na macro fase de pós-desenvolvimento ou preparação da produção em série os protótipos físicos são utilizados para ajustes finais do processo produtivo e são construídos em fábricas piloto com peças fabricadas em ferramentais definitivos e peças em estágios finais de desenvolvimento.

5 Conclusão

O processo de desenvolvimento de produto (PDP) é composto por etapas que evoluem no tempo e que integram ferramentas, métodos e processos capazes de auxiliar na redução do tempo e dos custos de desenvolvimento. Entre os processos integrados ao PDP estão os processos de prototipagem física. Com a evolução do desenvolvimento do produto se faz necessário o uso de diferentes protótipos físicos, que evoluem juntamente com o desenvolvimento do produto.

O comparativo entre o modelo de PDP de referência e o PDP da montadora utilizado no estudo de caso permitiu concluir que o processo de desenvolvimento de produto (PDP) da montadora é similar ao processo de desenvolvimento

de produto (PDP) do modelo de referência. Ambos os PDP são compostos por três macro fases de desenvolvimento e etapas intermediárias relacionadas à evolução do desenvolvimento do produto.

Na medida em que se tem a evolução do conceito para um projeto mais detalhado e, posteriormente a fabricação do produto e sua introdução no mercado, os protótipos físicos são utilizados tanto para fornecer uma visão geral do produto como para a realização testes funcionais e tomadas de decisão.

Mesmo com o crescente uso dos processos de prototipagem virtual no processo de desenvolvimento de produto o uso de protótipos físicos permanecerá integrado e necessário ao desenvolvimento do produto.

Referências

CHUA, C. K.; HONG, K. H.; HO, S. L. Rapid tooling technology: part 1: a comparative study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, London, v. 15, n. 8, p. 604-608, 1999.

COMPOSITE ABOUT. *Vacuum bagging: basics*. Disponível em: <<http://composite.about.com/od/aboutcompositesplastics/1/aa000109.htm>>. Acesso em: 3 nov. 2007.

FERREIRA, A. B. H. *Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa*. 3. ed. Curitiba: Positivo, 2003. 2120 p.

KAI, C. C.; JACOB, G. K.; MEI, T. Interface between CAD and rapid prototyping systems: part 1: a study of existing interfaces. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, London, v. 13, p. 566-570, 1997.

MACARRÃO JUNIOR, L.; KAMINSKI, P. C. *Vacuum bagging: fiber glass parts fabrication with quality*. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAIS DA TECNOLOGIA DA MOBILIDADE, 15., 2006, São Paulo. (SAE Technical Paper Series n. 2006-01-2609).

PHAM, D. T.; GAULT, R. S. A comparison of rapid prototyping technologies. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Amsterdam, v. 38, p. 1257-1287, 1998.

PRIES, L.; SCHWEER, O. The product development process as a measuring tool for company internationalisation? The case studies of DaimlerChrysler and Volkswagen. *The International Journal of Automotive Technology and Management*, Geneva, v. 4, n. 1, p. 1-21, 2004.

REINFORCED PLASTICS. *Vacuum bagging: a versatile processing tool: special feature*. Amsterdam: Elsevier, 1992.

ROOKS, B. Rapid tooling for casting prototypes. *Journal of Assembly Automation*, Bingley, v. 22, n. 1, p. 40-45, 2002.

ROSOCHOWSKI, A.; MATUSZAK, A. Rapid tooling: state of the art. *Journal of Materials Processing Technology*, Amsterdam, v. 106, p. 191-198, 2000.

ROZENFELD, H. et al. *Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo*. São Paulo: Saraiva, 2006.

SILVA, G. C. *Prototipagem rápida e ferramental rápido aplicados às peças utilizadas em ensaios estáticos de embalagens para acondicionamento e transporte de peças automotivas*. 2008. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SILVA, G. C.; KAMINSKI, P. C. Rapid prototyping applied to parts used in static tests of racks for packing and transporting automobile parts. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAIS DA TECNOLOGIA DA MOBILIDADE, 16., 2007, São Paulo. (SAE Technical Paper Series n. 2007-01-2690).

UPCRAFT, S.; FLETCHER, R. The Rapid Prototyping technologies. *Rapid Prototyping Journal*, Bingley, v. 23, n. 4, p.318-330., 2003.

VOLPATO, N. et al. *Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações*. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

ZORRIASSATINE, F. et al. A survey of virtual prototyping techniques for mechanical product development. *Journal of Engineering Manufacture*, London, v. 217, n. 4, p. 513-530, 2003.