

MODELO DE REFERÊNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS MECATRÔNICOS: VISÃO GERAL DA FERRAMENTA

Sanderson César Macêdo Barbalho (USP)

scmb@sc.usp.br

Henrique Rozenfeld (USP)

roz@sc.usp.br



O artigo apresenta o Modelo de Referência para o Desenvolvimento de Produtos Mecatrônicos (MRM). Apresenta-se a metodologia utilizada para confeccionar o modelo, os principais determinantes da tecnologia mecatrônica a serem considerados no MRM. O conteúdo do modelo é apresentado de forma estruturada, partindo da visão de fases do modelo, passando pela visão de atividades. Discute-se os pontos de decisão do MRM, assim como as configurações de produto e de projeto, e os protótipos considerados importantes para esse tipo de produto. Apresenta-se o conceito de ciclos e refinamentos, o qual permite implementar fluxogramas de processo que comportem maior flexibilidade na seqüência de fases do desenvolvimento de produtos. Sumarizam-se os resultados conseguidos utilizando o MRM em uma empresa que desenvolve produtos mecatrônicos. O modelo foi transformado em site e tem, hoje, todo seu conteúdo disponível para consulta e download.

Palavras-chaves: Processo de Desenvolvimento de Produtos, Mecatrônica, Modelo de Referência

1. Introdução

O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) é um tema de pesquisa relativamente novo na engenharia de produção. Há esforço tanto por parte de pesquisadores brasileiros, quanto americanos e europeus para desenvolver modelos referenciais que possam ser usados como benchmarking por empresas que querem estruturar ou melhorar seu PDP. Para COOPER (1993) os modelos permitem planejamento mais acurado dos projetos e para ULRICH e EPPINGER (1995) eles provêm mais efetividade à garantia da qualidade do produto. BESKOW (2000) aponta que os modelos facilitam a transferência de conhecimento entre projetos, enquanto ENGWALL, KLING e WERR (2005) acreditam que a única melhoria relacionada ao uso de modelos de referência é o fato de eles proverem um léxico comum para os membros das diversas funções envolvidas no PDP.

O presente trabalho apresenta o Modelo de Referência Mecatrônico (MRM). Ele é resultado de um projeto de doutoramento em que cerca de 02 anos de trabalho foram dedicados a entender problemas operacionais do desenvolvimento de produtos de alta tecnologia no Brasil e a aplicar melhorias de processo com base no modelo MRM. Portanto, seu conteúdo foi testado quanto à capacidade de gerar resultados operacionais no PDP de uma empresa que desenvolve produtos mecatrônicos.

Produtos mecatrônicos são aqueles cuja funcionalidade básica é provida por soluções que agregam tecnologias mecânica, eletrônica e de software (BRADLEY, 2000). O projeto desse tipo de produto demanda um alto esforço em organizar pessoal com diferentes especialidades e em articular todo um sistema de produção que consiga produzir partes mecânicas e eletrônicas de maneira integrada. Adicionalmente, não há na bibliografia de PDP uma orientação sistemática ao projeto de produtos com as características tecnológicas da mecatrônica, nem na bibliografia de mecatrônica discussão acerca do desafio organizacional imposto para se ter sucesso mercadológico com novos produtos. O MRM visa suprir essas lacunas.

O enfoque do presente artigo está em prover uma visão geral do modelo de referência desenvolvido. O item seguinte apresenta o método de pesquisa utilizado para confeccioná-lo. Segue uma discussão sobre o conceito de mecatrônica. Apresenta-se o MRM e depois são sumarizados os resultados conseguidos com sua aplicação.

2. Método de desenvolvimento do modelo de referência

A proposição do modelo de referência mecatrônico seguiu o método hipotético-dedutivo, conforme classifica LAKATOS e MARCONI (1991). A metodologia usada para a confecção do modelo foi dividida nas seguintes etapas.

Foi gerada uma versão V0 do modelo mediante a participação do pesquisador na confecção de uma versão inicial de um modelo de referência que coadunou diversos grupos de pesquisa de PDP no Brasil (MOSCONI et al., 2003). O conteúdo desta versão foi utilizado como referencial para a análise do PDP de uma empresa que desenvolve produtos mecatrônicos, a qual foi realizada por meio de uma pesquisa do tipo observação participante (SERVA e JÚNIOR, 1995). Os dados extraídos desta etapa permitiram confeccionar a versão V1 do modelo.

A etapa seguinte consistiu em identificar os aspectos que deveriam ser modelados em um processo de negócio, segundo as teorias de modelagem de empresas. Os aspectos

identificados foram complementados por elementos extraídos das bibliografias de PDP e de mecatrônica. A técnica de análise de conteúdo em sua variante de análise categorial, discutida em BARDIN (1979), foi amplamente utilizada nessa etapa do trabalho. Os tipos de conteúdo a serem modelados foram utilizados para direcionar o detalhamento do modelo de referência. Uma versão V2 do modelo foi produzida em um nível de detalhe tal que permitisse a aplicação de melhorias no PDP de uma empresa com base em suas posições.

A etapa seguinte foi a aplicação do modelo de referência que consistiu no seu uso em uma situação real de projeto tendo sido realizada mediante os conceitos e técnicas de pesquisa-ação, conforme THIOLENT (1997), tendo ocorrido ao longo de 15 meses de trabalho. O pesquisador foi novamente integrado à equipe de projeto na empresa na qual foi realizado o estudo de caso já mencionado e passou a realizar melhorias no seu PDP.

Ao final dos 15 meses foi desenvolvido um questionário que visava inferir a melhoria conseguida pela aplicação do modelo e a opinião dos participantes do PDP da empresa quanto às limitações da ferramenta. Foi realizada uma análise sistemática dos dados captados através do questionário. Com base nesses resultados foi desenvolvida uma sistematização final do modelo de referência, a qual é resumida neste trabalho.

3. Mecatrônica

Para GROVE (2001), a mecatrônica está relacionada aos elementos básicos de sistemas de controle:

“[...] é a confluência de métodos de projeto tradicionais com sensores e tecnologia de instrumentação, atuadores e sistemas de alimentação, sistemas microprocessados embarcados e software de tempo real.”

A definição apresentada enfoca o que seriam produtos mecatrônicos sob a ótica das tecnologias relacionadas com as funções desempenhadas pelo produto: atuadores, sensores, instrumentação, microprocessadores, sistema de alimentação e software em tempo real. BRADLEY (1991) apresenta uma extensa discussão em torno dessas tecnologias, a qual é resumida abaixo:

- sensores e instrumentação: mensuração utilizada para controlar condições de operação e/ou ambientais do produto. Sensores são componentes que respondem a um parâmetro físico que se deseja medir mediante uma determinada instrumentação.
- software de processamento/controle: principal componente lógico do sistema onde são armazenadas e comandadas as funções básicas do produto. Pode ser central ou distribuído e comportar soluções em software de baixo nível (*assembly*) armazenado em memórias removíveis por ultra-violeta (EPROM) ou microcontrolador dedicado, ou em programação de alto nível utilizando C++, Delphi etc.
- atuadores e *drivers*: atuadores são soluções mecânicas ou eletromecânicas usadas para corrigir o funcionamento do sistema agindo diretamente sobre o mecanismo que realiza a operação básica do produto. *Drivers* são circuitos que interfaceiam os sinais de controle gerados pelo sistema microprocessado.
- projeto de engenharia: projeto básico do mecanismo ou solução de engenharia para o propósito ao qual o produto deve atender. Em equipamentos mecatrônicos é necessário que o projeto básico leve em consideração os demais componentes mecatrônicos desde sua concepção.
- sistema de comunicação: meios físicos e/ou eletromagnéticos por onde os sinais produzidos e utilizados por sensores, microprocessadores e atuadores transitam, podendo

ser redes locais (*Local Area Networks*- LANS) ou sistemas sem fio (*Wireless Fidelity* - *WI-FI*).

A figura 1 é um esquema genérico para um produto mecatrônico conforme os componentes acima.

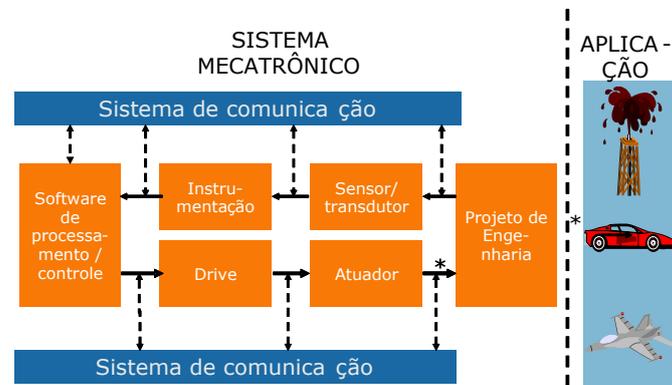


Figura 1 - Elementos de um sistema mecatrônico. (Fonte: própria)

O fluxo principal é exemplificado pelas setas cheias na horizontal. Elas representam, basicamente, um fluxo de informações. À exceção das identificadas com um asterisco (*) - entre atuador e projeto de engenharia e entre esse e a aplicação, o fluxo principal pode ser também de energia ou materiais. As setas tracejadas na vertical identificam os possíveis fluxos de informação realizados através dos sistemas de comunicação. As aplicações identificadas na figura 1 demonstram as possibilidades de introdução de componentes e módulos mecatrônicos na indústria de processos (petróleo), de produtos de massa (carros) ou defesa (aviões militares). O sistema mecatrônico é, entretanto, na maioria das vezes, comercializado como produto final.

Um modelo de referência que possa ser utilizado para desenvolver produtos mecatrônicos deve prover um referencial que possibilite que o projeto das partes do produto sejam de fato realizadas. Ou seja, apresentar uma descrição do processo de “projeto de um sistema de comunicação” que interrelacione sensores, atuadores, *drivers* e sistema de controle; projeto de um “software de processamento e controle” que adquira dados disponibilizados no sistema de comunicação, interprete os sinais oriundos dos sensores e gere sinais de controle para os atuadores etc. Além disso, para equipes de projeto, via de regra, organizadas em setores funcionais - equipe de mecânica, de eletrônica e de *software* - é importante que o modelo comporte ferramentas de comunicação e integração técnica das partes desenvolvidas por cada especialidade

Uma apresentação detalhada da mecatrônica e como seus requisitos foram incorporados em um arcabouço mais fortemente relacionado com o PDP foge do escopo deste trabalho. A seguir é apresentado o MRM.

4. Modelo proposto para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos

A seguir apresenta-se a estrutura de fases do MRM. Inicia-se com uma descrição das fases e pontos de decisão. Posteriormente é resumida a visão de atividades do modelo, introduzem-se os ciclos e refinamentos do MRM, posteriormente uma visão relativa aos documentos e templates utilizados e, enfim, os protótipos e configurações previstos.

4.1. Visão de fases do MRM

A figura 2 conceito das fases do MRM, o qual é fortemente relacionado com o que foi encontrado na bibliografia que pode ser considerado como diferença entre desenvolver um produto mecatrônico e um produto comum. O produto comum é entendido como sendo um produto cuja função principal tenha enfoque claro em uma disciplina tecnológica e que não comporte um sistema de controle. O modelo foi confeccionado levando-se em consideração a maior complexidade possível no projeto: um produto novo para o mundo que utilize tecnologias mecânica, eletrônica e de *software* para cumprir sua função principal, que comporte um sistema de controle malha fechada que apresente todos os componentes ilustrados na figura 1 e que demande um sistema de produção para alto volume.

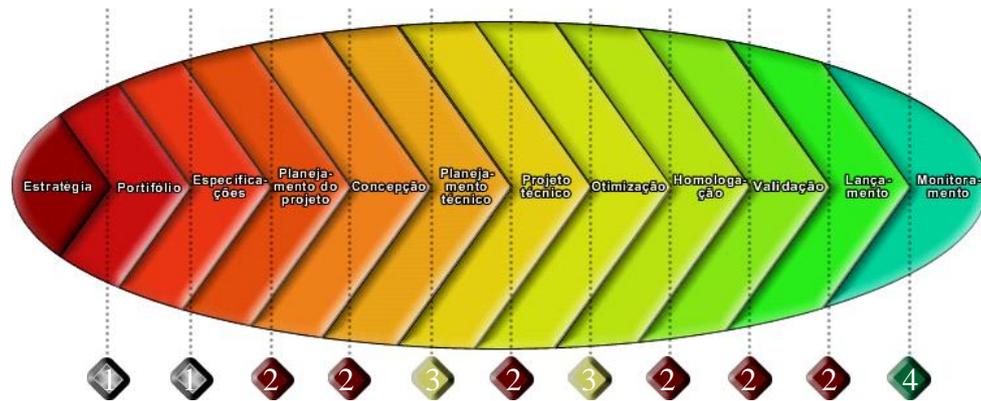


Figura 2 - Fases do MRM

As fases do MRM são delimitadas por resultados parciais gerados ao final de cada uma, os quais são documentos que representam “informações de valor” (CLARK e FUJIMOTO, 1991) relacionadas com as especificações do produto (PDS), conforme PUGH (1990). O conceito de cada fase é:

- estratégia: definição dos objetivos estratégicos a serem perseguidos em cada linha de produtos (LDP) da empresa. Uma arquitetura de produto mecatrônica pode ser facilmente adaptada a diversas linhas de produto, o que faz com que deva ser estudada com detalhe a estratégia tecnológica da empresa: quais tecnologias ela precisa dominar em cada uma das já mencionadas áreas de conhecimento da mecatrônica;
- portfólio: definição do portfólio de cada LDP. A flexibilidade é uma característica importante dos produtos mecatrônicos. As soluções de eletrônica e software são facilmente escalonadas de maneira a atingir diferentes segmentos de mercado, enquanto que os aspectos mecânicos relacionados ao produto mecatrônico devem fazer extenso uso das técnicas de modularização de produto de maneira a manter baixos os custos de desenvolvimento de “produtos derivativos” (WHELLWRIGHT e CLARK, 1992);
- especificações: definição das especificações de cada produto. Em um projeto com alto grau de complexidade, as especificações geradas nessa fase podem ter nível de detalhe compatível aos “requisitos de produto” resultantes de um desdobramento da função qualidade (QFD), mas não apresentam detalhamento compatível com uma “engenharia de requisitos” de software (PRESSMAN, 2001), a qual só poderá ser desenvolvida na fase de planejamento técnico. Nessa fase deve ser realizado um levantamento detalhado das normas de qualidade aplicáveis ao produto de forma que seus requisitos sejam incorporados nas especificações entregues ao time de projeto;
- planejamento do projeto: definição do plano de projeto. Aqui são aplicadas técnicas de

- planejamento de projetos no padrão PMBOK (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2005), resultando em um plano de projetos cujo conceito é similar ao descrito no capítulo “gestão de integração” desse conhecido padrão de processo;
- concepção: definição dos componentes e princípios de solução para as funções principais do produto mecatrônico. Para um produto com alto grau de complexidade não há uma decisão tomada a priori acerca de qual área de conhecimento deva realizar o quê no produto. Na fase de concepção, a equipe de projeto discute como atender aos requisitos funcionais e às restrições principais do produto. Como resultado dessa fase tem-se as funções a serem realizadas via mecânica, eletrônica e software, assim como a combinação dessas disciplinas que atenderá às especificações;
 - planejamento técnico: essa fase consiste basicamente no detalhamento do plano de projeto com base na concepção do produto. Quando um produto já faz parte da LDP da empresa, ou quando ele é baseado em um produto que já existe no mercado, as atividades dessa fase podem ser realizadas quando do planejamento do projeto. Entretanto, para projetos mais complexos para a empresa, apenas aqui é possível detalhar o plano de atividades do projeto, determinar seu caminho crítico, identificar novas competências a desenvolver ou agregar à equipe e definir partes a serem subcontratadas. Nessa fase é também realizada a especificação do software a desenvolver e o planejamento dos parâmetros críticos do produto;
 - projeto técnico: soluções técnicas para as funções principais do produto. Essa fase é dividida basicamente no projeto de cada um dos componentes do produto mecatrônico (Figura 1). Os passos para se desenvolver a engenharia básica do produto são apresentados, assim como para desenvolver o projeto do sistema de controle, a eletrônica microprocessada, o software embarcado e o software de alto nível. Essa fase é totalmente focada em especificidades dos produtos mecatrônicos.
 - otimização: o MRM subdivide o projeto do produto em funções “principais” e “secundárias”, conforme classificação de PAHL e BEITZ (1996). Na fase anterior são desenvolvidas as soluções para as funções principais e na fase de otimização são geradas as soluções para as funções secundárias. Considera-se, no MRM, que as soluções para interface homem-máquina, equipamentos de suporte, design e carenagem e sistemas de alimentação são funções secundárias do produto. Entretanto, dependendo do que está sendo projetado, tais elementos devem ser incorporados às funções principais e tratados na fase anterior. A fase incorpora análises de confiabilidade, modos e efeitos de falha (FMEA), relação sinal-ruído e análises por elementos finitos, cujo objetivo é o aumento da qualidade do produto;
 - homologação: homologação do processo de fabricação e montagem do produto. Considerando um produto mecatrônico como direcionado ao mercado de linha branca, ou item incorporado a um automóvel, avião, ou satélite, utilizou-se de normas e padrões direcionados a esses setores para definir um processo genérico de homologação de produto. Esse processo consiste, para automóveis, no estabelecimento de um plano de controle a ser utilizado para homologar um lote piloto, ou para aeronaves, a um plano de garantia do produto a ser utilizado para qualificar um modelo para vôo. Considerou-se a existência de processos terceirizados com demanda para o desenvolvimento de fornecedores;
 - validação: consiste em certificar o produto e na sua validação pelo usuário. Para um conjunto considerável de equipamentos mecatrônicos há uma grande diversidade de normas de segurança a serem seguidas. No mercado automotivo, um sistema de controle do motor de combustão interna deve ser validado contra o nível de emissão de gases por

unidade de volume de combustível. Para equipamentos usados em medicina há normas de segurança relativas à emissão eletromagnética, aterramento, dispositivos de segurança de software etc. Quanto à validação, considera-se a necessidade de uma avaliação formal do produto por parte de clientes potenciais, o que é normativo para diversos equipamentos mecatrônicos;

- lançamento: consiste nas atividades relacionadas ao detalhamento do plano de marketing do produto e ao desenvolvimento da logística integrada ao plano de produção. O chão-de-fábrica da empresa é, eventualmente, alterado para comportar o volume e a variedade prevista para o produto. O sistema de informações gerenciais recebe os últimos dados necessários ao planejamento dos pedidos. O plano de introdução do produto no mercado é executado e o produto é monitorado ao longo de seu lançamento até atingir o volume de vendas previsto. O projeto é, então, encerrado com fechamento administrativo, registro de lições aprendidas e fechamento contratual. A equipe de projeto é desfeita e um de seus membros passa a acompanhar o produto em seu ciclo de vida;
- monitoramento: acompanhamento dos resultados conseguidos com o produto e gerenciamento das modificações realizadas na configuração inicial de produção. Os resultados dessa fase são incorporados ao planejamento da estratégia de produtos da empresa e ao planejamento do portfólio da LDP pela sistematização das reclamações de clientes e da manufatura, assim como das possibilidades de melhoria detectadas.

A estrutura de decisões do MRM é também ilustrada na Figura 2. As decisões coincidem com o final de cada fase e na figura estão representados os diferentes tipos de decisão do PDP. As decisões ilustradas por (◆) são revisões de portfólio e representam momentos nos quais as decisões são tomadas em torno de um determinado conjunto de produtos. Na fase de estratégia o conjunto são todos os produtos da empresa enquanto que na de portfólio são todos de uma determinada LDP. Os *gates* ilustrados por (◆) são decisões com ênfase no negócio realizadas com base em indicadores de desempenho de projetos. Os *gates* representados por (◆) são decisões técnicas realizadas em encontros *peer review* e o *gate* (◆) representa o fechamento de um determinado projeto de desenvolvimento após o *ramp-up* do produto.

4.2. Visão de atividades do MRM

Para cada uma das fases do modelo construído foi desenvolvido um fluxograma de processos. De maneira a exemplificar a estrutura do modelo confeccionado apresenta-se na figura 3 o fluxo de atividades da fase de estratégia.

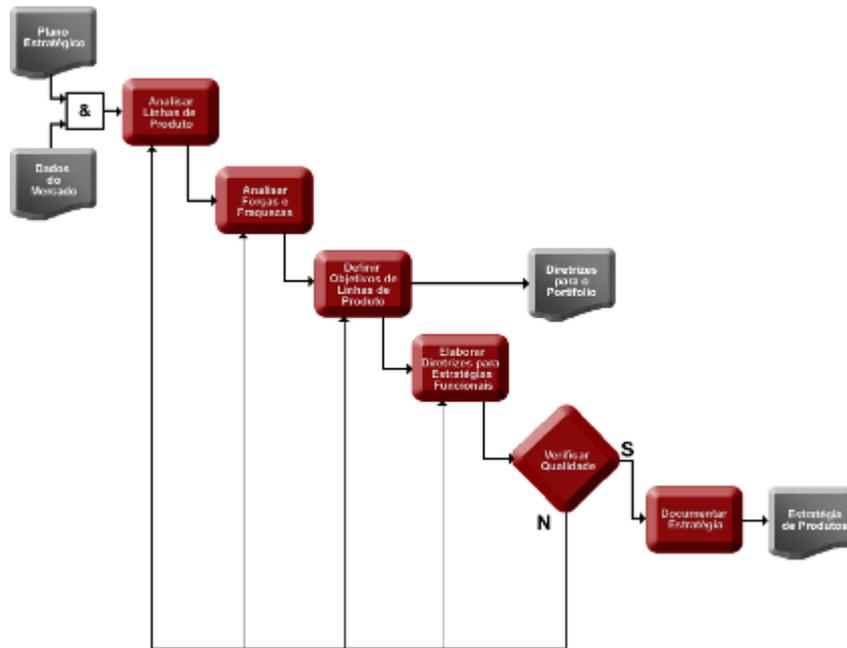


Figura 3 - Fase de estratégia

Para cada atividade ilustrada nos fluxogramas de processo há uma descrição detalhada de seu conteúdo com referências à bibliografia de PDP ou das áreas técnicas vinculadas ao projeto mecatrônico como eletrônica, mecânica, software etc., com uma descrição das tarefas que compõem a atividade, com as informações de entrada necessárias à execução da atividade e com suas principais saídas. A figura 4 apresenta o detalhamento da atividade “Definir objetivos do portfólio” que é uma das atividades ilustradas na figura 3. Ao menos 01 página de texto foi escrita para cada atividade prescrita no MRM de forma a facilitar seu uso.

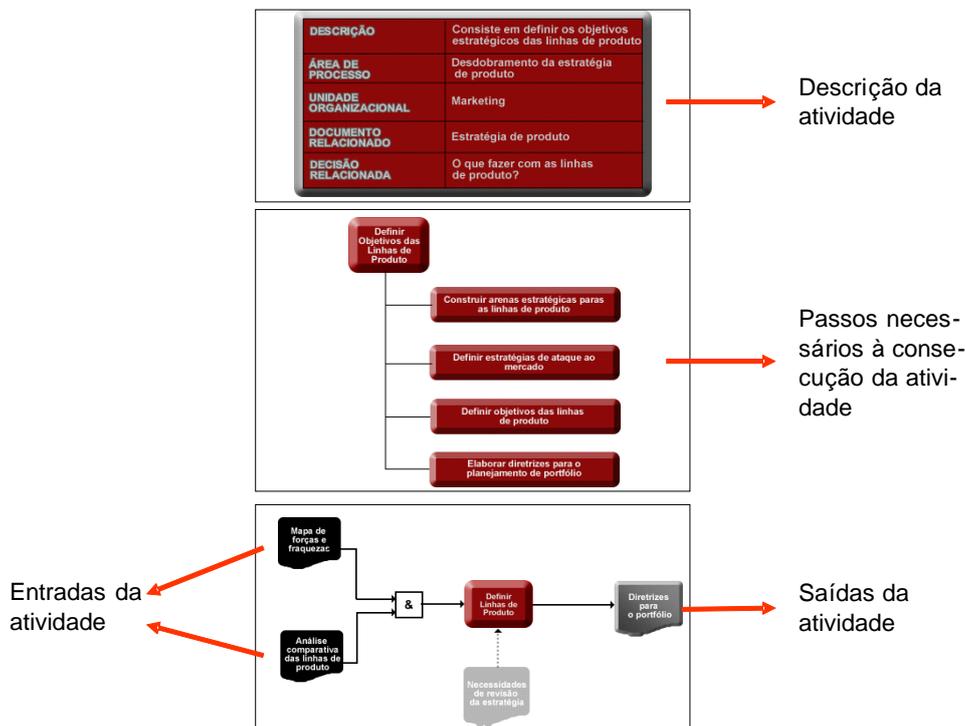


Figura 4 – Detalhamento da atividade de definição dos objetivos do portfólio da empresa

O MRM comporta 127 atividades divididas nas 12 fases introduzidas acima. O detalhamento de como cada atividade deve ser implementada soma a descrição de 587 tarefas. Há ainda a descrição do conteúdo de todos os documentos intermediários e de saída de cada fase e de alguns métodos previstos no modelo.

4.3. Ciclos e refinamentos no MRM

As fases do MRM foram projetadas de forma a consolidar o conceito de ciclos e refinamentos. A figura 5 apresenta a aplicação do conceito de ciclos, conforme PRASAD (1996) no MRM. O conceito é complementado pelo de “refinamento” desenvolvido com base em ULRICH e EPPINGER (1995).

Os ciclos são definidos como formas de implementação do conceito de engenharia simultânea. Eles representam conjuntos de atividades dentro de uma só fase ou de fases diferentes que devem ser realizadas com um grau considerável de paralelismo. Esse paralelismo permite o desenvolvimento antecipado de soluções para problemas de projeto que, se tratados seqüencialmente, poderiam gerar alto grau de retrabalho e de adiamentos nos prazos do projeto. Além disso, os ciclos representam situações nas quais determinados resultados parciais de uma fase demandam o retorno a uma fase anterior para que sejam revistas especificações já desenvolvidas.

Por outro lado, os ciclos tornam mais complexos os fluxos de informação no projeto e isso implica em maior dificuldade de planejamento. Não incorporá-los às fases, entretanto, poderia denotar uma falsa imagem de seqüencialidade ao MRM, o que não se verifica em projetos mecatrônicos reais.

Apesar disso, no modelo mecatrônico, o PDP foi projetado para que haja poucos ciclos. Para tal, adotou-se o conceito de “refinamento” que consiste em uma revisão de algumas atividades realizadas em fases anteriores do PDP. Nesse sentido, as especificações desenvolvidas na fase de “especificações” são refinadas na fase de “concepção” quando já há um conhecimento mais maduro sobre as tecnologias a serem desenvolvidas no projeto. Esse processo é denominado de refinamento de especificações.

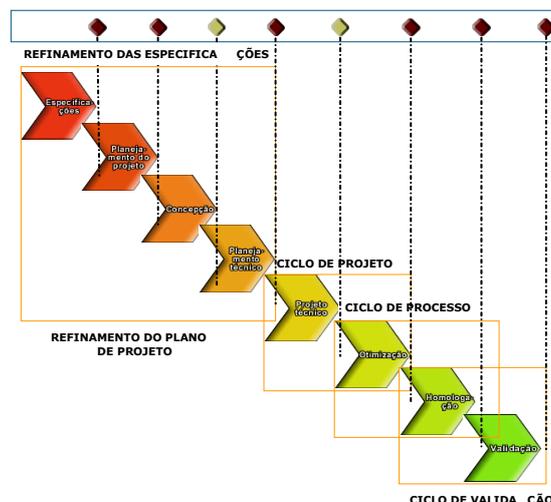


Figura 5 - Ciclos e refinamentos entre as fases do MRM

Similarmente, a fase de “planejamento técnico” prevê o refinamento do plano de projeto que fora preliminarmente confeccionado na fase de “planejamento do projeto”. Esse refinamento objetiva aprofundar o plano de atividades do projeto, pois no planejamento técnico já há uma concepção definida e modelos abstratos, tais como arquitetura do produto e análise de requisitos de software que subsidiam o detalhamento do trabalho a ser realizado. Adicionalmente, nos *gates* que acontecem ao longo de um projeto são revisadas tanto as especificações do produto quanto o plano de projeto, o que pode ser considerado um tipo de refinamento realizado no projeto.

O ciclo de projeto consiste na realimentação da fase de “projeto técnico” com informações levantadas na fase de “otimização”. Esse tipo de realimentação acontece por dois motivos. Primeiramente devido ao fato de a fase de “projeto técnico” ter sido projetada para comportar soluções desenvolvidas para as funções primárias do produto, enquanto que na fase de “otimização” as soluções são desenvolvidas para as funções secundárias, o que pode implicar em alterações no desempenho das soluções das primárias. Segundo, na “otimização” são realizadas análises técnicas de riscos, confiabilidade e sinal/ruído que também podem demandar modificações nas soluções das funções primárias.

O ciclo de processo consiste no refinamento da documentação de processo e na eventual modificação da *baseline* resultante da fase de otimização para acomodar restrições dos setores de manufatura da empresa. Eventualmente, o ciclo de processo pode gerar a necessidade de revisão do ciclo de projeto uma vez que determinadas alterações nas especificações das tolerâncias de alguns parâmetros do projeto podem gerar necessidade de revisão das soluções desenvolvidas para as funções primárias.

O ciclo de validação acontece entre as fases de “validação” e “homologação”. Esse ciclo tem como objetivos principais a análise de influências de modificações incrementais realizadas no produto com relação aos custos e riscos do processo de manufatura e montagem. As modificações incrementais realizadas na fase de “validação” podem decorrer de mudanças sugeridas por clientes no processo de validação do produto ou de mudanças realizadas em função de problemas encontrados nos testes de certificação do produto.

4.4. Documentos e templates do MRM

As informações que compõem as entradas e saídas do modelo são detalhadas em *templates* de documentos e, similarmente, as decisões representadas na “alocação de decisões” são detalhadas em *templates* de decisão que implementam *checklists* e *scorecards* para cada fase do MRM. As *templates* são o nível de maior detalhe na representação do PDP mecatrônico.

A figura 6 apresenta uma *template* de documento para a saída “especificações do produto”. Todas as *templates* desenvolvidas ao longo do trabalho de doutoramento foram acompanhadas de exemplos reais de sua utilização na empresa na qual foi aplicado o MRM.

Referencial de Desenvolvimento de Produtos
Sanderson Barbalho

DOCUMENTO:		ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO										
PROJETO		DEFINIÇÃO										
Necessidades dos clientes		Métricas da qualidade do produto (desdobrada)										
		Preferência	Métrica 1	Métrica 2	Métrica 3	Métrica 4	Métrica 5	Métrica 6	Métrica 7	Métrica 8	Métrica 9	Métrica 10
Necessidade 1												
Necessidade 2												
Necessidade 3												
Necessidade 4												
Necessidade 5												
Necessidade 6												
Necessidade 7												
Necessidade 8												
Requisitos normativos												
Requisito 1												
Requisito 2												
Requisito 3												
Valor-meta												
Identificação de especificações NLO												
Item nº	Descrição											
CONCEITO DO PRODUTO												

Figura 6 - Template do documento “especificações do produto”: modelo sugerido.

Os documentos gerados em cada fase do MRM são a base na a análise *go/non go* realizada nos *gates*. Além disso, a documentação de produto gerada ao longo do MRM consolida as configurações de projeto e de produto, discutidas a seguir.

4.5. Protótipos e configurações de projeto e de produto no MRM

Protótipos e configurações de produto são ferramentas tradicionais de acompanhamento do progresso técnico dos projetos, sendo utilizadas no MRM como ferramentas de gestão de projetos, conforme sugere WHELLWRIGHT e CLARK (1992). No MRM, a partir da fase de “projeto técnico” até a de “validação” há previsão de uso sistemático de protótipos. Os protótipos são testados contra as especificações do produto e quando cumprem seus objetivos são documentados em configurações do projeto e do produto. A seguir discutem-se os protótipos do MRM e suas respectivas configurações.

- Protótipos de concepção: protótipos “experimentais” utilizados para provar a concepção do produto em termos de componentes principais e formas de relacionamentos entre eles;
- Protótipos alfa – utilizados na fase de projeto técnico para provar a efetividade das soluções desenvolvidas para as funções primárias do produto. Após aprovado, o MRM prevê congelar a “*baseline* da configuração de projeto_1” onde constam soluções para as funções primárias;
- Protótipos beta – protótipos completos do produto que são usados para sua otimização. Ao final, congela-se a “*baseline* da configuração de projeto_2”, onde constam soluções para todas as funções do produto e as análises técnicas realizadas durante o projeto;
- Protótipos de homologação – utilizados para validar o processo de fabricação em condições normais de manufatura. São protótipos pré-produção que quando aprovados geram a “*baseline* da configuração de projeto_3”;
- Protótipos piloto – protótipo pré-produção usado junto com a “*baseline* da configuração de projeto_4” para validar o projeto junto a clientes e certificar o produto. Após certificado e validado o produto é gerada a “*baseline* da configuração de projeto_5” com a configuração final do projeto.

A configuração final do projeto é incrementada com informações comerciais, como catálogos, manuais de serviço, planos de marketing, planos de logística e planos de produção para gerar a configuração inicial do produto, denominada “*baseline* do produto_configuração_1”.

Do ponto de vista operacional, a seqüência de fases, os pontos de decisão e o uso de protótipos e *baselines* de configuração podem ser considerados o cerne do MRM.

5. Resultados de uso do MRM

O modelo apresentado no item anterior foi aplicado, conforme já mencionado, mediante pesquisa-ação em uma empresa que desenvolve produtos mecatrônicos. O quadro 1 apresenta um sumário das aplicações do modelo ao longo do PDP da empresa. Detalhes dessa aplicação fogem ao escopo do presente artigo.

FASES	DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO
Estratégia	Melhoria conceitual da forma de realização da caracterização de linhas de produto, usando matriz BCG Melhoria da forma de análise do ambiente competitivo utilizando conceitos de análise da concorrência
Portfólio	Melhoria conceitual da forma de priorizar os projetos de novos produtos quanto à estratégia da empresa
Especificações	Criação de procedimento para a identificação sistemática dos requisitos dos produtos a desenvolver Confecção de matrizes de verificação de requisitos para os produtos em desenvolvimento Criação de checklists para a identificação de requisitos normativos por tipologia de produto
Planejamento do projeto	Desenvolvimento de processo padronizado de planejamento de projetos com WBS e cronograma padrões Estabelecimento de estrutura de monitoramento e controle de prazos e custos ao longo dos projetos
Concepção	Criação de procedimento padrão para a construção de concepções e arquiteturas de produtos
Planejamento Técnico	Desenvolvimento de procedimento de identificação, descrição e análise de requisitos de software Criação de padrão para o planejamento e a documentação de projetos com base em árvores de produto
Projeto técnico	Desenvolvimento de procedimento para orientar a gestão das configurações dos protótipos dos produtos Criação de templates para a sistematização do projeto técnico dos produtos em relatórios técnicos
Otimização	Criação de procedimento e template para a análise de riscos de produtos com base em formulário FMEA Criação de templates para a sistematização de dados e a produção de relatórios de testes de software Criação de templates de documentos de montagem eletrônica e mecânica e integração de software
Homologação	Desenvolvimento de template de fluxograma de processo para transferir produtos para a manufatura Criação de procedimento e template para a análise de falhas de processo com base em formulário FMEA Criação de procedimento de documentação de informações de compra e contratação de fornecedores Desenvolvimento de template de processo de controle de qualidade de produtos em processo
Validação	Criação de procedimento de validação de produtos com base na aprovação dele e de seus documentos
Lançamento	Criação de procedimento para consolidar e controlar a configuração comercial do produto
Monitoramento	Criação de procedimento para o gerenciamento de mudanças nos produtos

Quadro 1 - Sumário das aplicações do MRM na empresa pesquisada (Legenda: BCG – Boston Consulting Group; WBS – Work Breakdown Structure; FMEA – Failure Mode and Effect Analysis)

Como pode ser visto, todas as aplicações do MRM foram relacionadas com o desenvolvimento de procedimentos ou a melhoria de alguns métodos utilizados para realizar atividades do PDP. Os procedimentos foram primeiramente usados em um novo projeto que estava em andamento no início da aplicação do modelo tendo sido posteriormente aplicado aos demais produtos em desenvolvimento. Um escritório de projetos foi estruturado para monitorar a aplicação dos procedimentos e métodos.

De um ponto de vista mais pragmático, o MRM permitiu à empresa: (1) a certificação ISO 9001:2000 da área de projetos, (2) o registro de dois equipamentos eletro-médicos na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), e (3) a adequação do seu PDP aos requisitos contratuais de órgãos das áreas militar e espacial brasileira. A figura a seguir apresenta uma visão quantitativa do grau de melhoria conseguido, conforme entrevistas estruturadas realizadas com gestores e pessoal operacional do PDP da empresa após a aplicação do MRM. Os entrevistados comparavam o estado anterior do PDP da empresa com o estado após a aplicação do modelo com base em uma escala de 0-5, onde 0 significava nível de capacidade baixo e 5 o mais alto nível de capacidade das atividades do MRM. Os valores indicados na figura representam a média da melhoria das atividades de cada fase do modelo. Detalhes das entrevistas e medição de resultados fogem ao escopo do artigo.

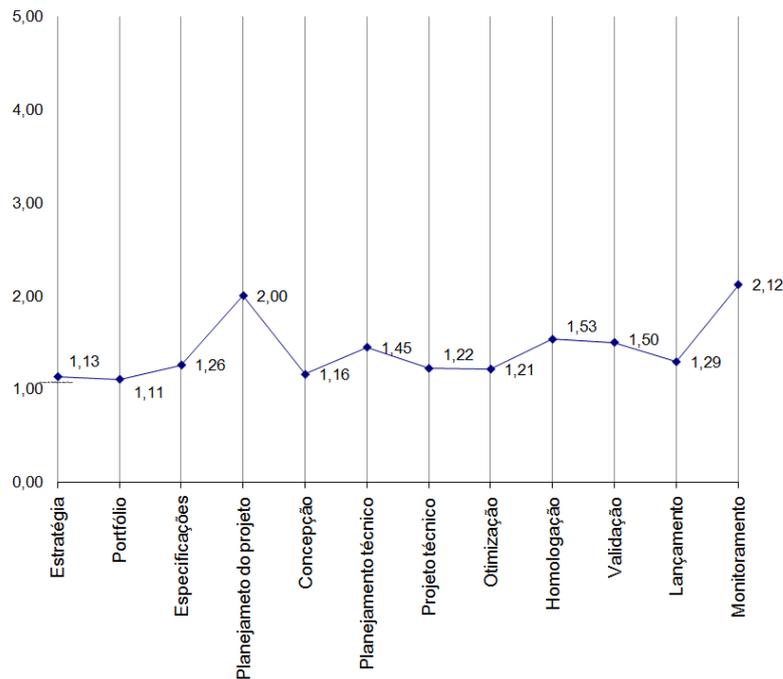


Figura 7 – Graus de melhoria das fases do MRM na empresa onde o modelo foi aplicado

Os menores graus de melhoria foram nas fases de portfólio (1,11) e de estratégia (1,13), o que pode ser explicado pela dificuldade de acesso às decisões estratégicas da empresa, já que o enfoque do trabalho de aplicação foi mediante a participação do pesquisador em uma equipe de projeto e, portanto, mais vinculada às atividades operacionais de projeto, manufatura e teste de protótipos. Os maiores graus de melhoria foram nas fases de monitoramento (2,12) e de planejamento do projeto (2,00), no primeiro caso em função da melhoria da documentação do projeto e da articulação entre os setores de assistência técnica, qualidade e engenharia, e no segundo caso pela busca em adequar o planejamento e monitoramento dos projetos aos requisitos da ISO 9001:2000 e de normas das áreas militar e espacial.

6. Considerações finais

O modelo de referência mecatrônico foi sistematizado ao final do trabalho de pesquisa já incorporando falhas e melhorias decorrentes da sua aplicação. Foi posteriormente implementado em linguagem HTML e publicado na internet. Quando da escrita do presente artigo, o site registrava 2735 acessos. Todo o conteúdo desenvolvido está disponível para consulta e download.

Referências

- BARDIN, L.** *Análise de conteúdo*. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Portugal, Lisboa: Edições 70, 1979.
- BESKOW, C.** *Towards a higher efficiency: studies of changes in industrial product development*. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2000.
- BRADLEY, D.A. et al.** *Mechatronics: electronics in products and processes*. London, United Kingdom, Chapman and Hall, 1991.
- _____. *Mechatronics and the design of intelligent machines and systems*. Cheltenham, United Kingdom, Stanley Thornes, 2000.

- COOPER, R.** *Winning at New Product: accelerating the process from idea to launch.* Reading Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1993.
- CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T.** *Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry.* Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, United States, 1991.
- ENGWALL, M; KLING, R; WERR, A.** *Models in action: how management models are interpreted in new product development.* R&D Management. V. 35, 4, 2005.
- GROVE, D.** *The Vertical Integration of Mechatronics at Virginia Tech.* Thesis Submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia, 2001.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A.** *Fundamentos de Metodologia Científica.* São Paulo, Atlas, 1991.
- MOSCONI, E. et. al.** *Integrando os conhecimentos em um PDP de três grupos de pesquisa: proposta de um modelo de referência e suas aplicações.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 4., 2003, Gramado. Anais... Porto Alegre: UFRGS, 2003, 1CD.
- PAHL, G.; BEITZ, W.** *Engineering design: a systematic approach – 2Rev.ed.* Springer-Verlag London Limited, London, Great Britain, 1996.
- PRASAD, B.** *Concurrent engineering fundamentals: integrated product and process organization.* New Jersey, United States, Prentice Hall, 1996.
- PRESSMAN, R.** *Software engineering: a practitioner's approach.* 5th ed. New York, McGraw-Hill Higher Education, 2001.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI).** *Project Management Body of Knowledge - PMBOK* (Tradução Livre), Capítulo de Minas Gerais do PMI, 2008.
- PUGH, S.** *Total design: integrated methods for successful product engineering.* Addison Wesley, London, United Kingdom, 1990.
- SERVA, M.; JÚNIOR, P.J.** *Observação participante e pesquisa em administração: uma postura antropológica.* Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v.35, n.1, 64-79, 1995.
- THIOLLENT, M.** *Pesquisa-ação nas organizações.* São Paulo/SP: Editora Atla\$\$s, 1997.
- ULRICH, K.T.; EPPINGER, S.D.** *Product design and development.* McGraw-Hill Inc. United States, 1995.
- WHEELWRIGHT, S. C.; CLARK, K. B.** *Revolutionizing product development process: quantum leaps in speed, efficiency, and quality.* New York, United States, The Free Press, 1992.