

ENGENHARIA SIMULTÂNEA DE SISTEMAS: ESTUDO DE CASO DO DESENVOLVIMENTO DE UM AUTOMÓVEL "VERDE"

Michelle A. G. Eller Araújo, Luiz Filipe L. Trivelato, Javier Efrain G. Alarcon, Geilson Loureiro

Instituto Tecnológico de Aeronáutica/Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – São Jose dos Campos-SP, mi_eller@yahoo.com.br; trivelato@gmail.com; jega9999@hotmail.com; geilson@lit.inpe.br

Resumo- Este trabalho tem o objetivo de discutir e contribuir para a validação da abordagem de Engenharia Simultânea de Sistemas proposta por Loureiro (1999) em sua Tese de Doutorado, no projeto de um produto complexo. Por meio de um exemplo hipotético (Automóvel "Verde" (GreenCar)), procurou-se exemplificar a aplicação da metodologia no desenvolvimento de produtos complexos e avançar no entendimento da aplicação da Engenharia Simultânea de Sistemas na dimensão do produto e da organização ao longo de todas as etapas do processo do ciclo de vida.

Palavras-chave: Engenharia Simultânea, Desenvolvimento Integrado de Produtos

Área do Conhecimento: Engenharias

Introdução

A alta competitividade, o surgimento de novas tecnologias e a crescente complexidade dos produtos, fizeram com que as empresas buscassem novas alternativas para desenvolver seus produtos em menor tempo, com menor custo e com maior eficácia, evitando re-trabalhos ao longo do processo de criação e produção. No caso de novos produtos, o tempo gasto no desenvolvimento, pode ser fundamental na conquista do mercado.

Desta forma, as empresas passaram a procurar formas de reduzir seu ciclo de desenvolvimento de produtos e uma forma de obter este resultado foi o aumento de atividades realizadas paralelamente umas as outras, antecipando a atividade posterior, de forma que seja possível realizar atividades simultaneamente.

Considerando isto, a Engenharia Simultânea, procura integrar fases diferentes no desenvolvimento de um produto, auxiliando desta forma o processo de desenvolvimento, produção e descarte de produtos.

Metodologia

O estudo apóia-se em pesquisa bibliográfica da metodologia criada por Loureiro (1999) e explorada em sua Tese de Doutorado pela Universidade de Loughborough na Inglaterra, para a análise do desenvolvimento de um produto por meio da integração da Engenharia Simultânea com premissas utilizadas no Desenvolvimento Integrado de Produtos, tornando-se possível analisar as interfaces e o conjunto de dados

disponíveis sobre o produto ainda em sua fase de pré-projeto.

Estas premissas somadas deram origem as análises realizadas: Análise do Ciclo de Vida do Produto, Stakeholders, Análise de Requisitos, Análise Funcional e Análise de Arquitetura.

Esta metodologia é aplicada no caso fictício de um automóvel de passeio com características ecologicamente corretas.

A Complexidade da Indústria Automotiva e o GreenCar

Na indústria automotiva, um projeto de um novo veículo representa uma alta carga de trabalho de engenharia. A condução desse tipo de projeto torna-se muito mais difícil se a abordagem de engenharia empregada não considerar os sistemas em sua totalidade, com sua natureza de "sistemas industriais complexos".

Antes da introdução das técnicas de Engenharia de Sistemas, o projeto de um novo modelo de automóvel chega a exigir a confecção de algumas centenas de protótipos do carro. A integração dos diversos sistemas do veículo ocorre num processo dispendioso e demorado de aproximações sucessivas feitas com base nesses protótipos.

Os sistemas complexos são aqueles nos quais ocorrem os seguintes fatores de forma combinada: (i) variedade de tipos de elementos presentes no conjunto; (ii) grande número de conexões e relacionamentos; (iii) nível de embaralhamento das conexões.

Levando em consideração estes fatores, o desenvolvimento de um automóvel que além dos

desafios comuns a todos os veículos também procura ser amigável ao meio-ambiente torna-se ainda mais desafiador.

O *GreenCar*, produto fictício, criado para auxiliar a aplicação do sistema de Engenharia Simultânea tem como missão “Prover transporte de até 3 passageiros particulares com menor impacto ambiental”. Seus principais objetivos são: O uso de combustíveis renováveis; redução de emissões; economia no consumo de combustível e o uso de materiais alternativos com alto percentual de partes recicláveis.

1. Análise do Ciclo de Vida do Produto, Stakeholders e seus Requisitos

De acordo com Doran (2009) sobre a norma IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 1220, a Engenharia Simultânea de Sistemas desenvolve atividades necessárias para projetar um produto adequado para a produção, uso, operação, manutenção e descarte, ou seja, para os processos do ciclo de vida do produto desde a concepção passando pelo desenvolvimento, maturidade e finalmente seu declínio.

Esta metodologia requer a participação de equipes multidisciplinares que consigam capturar as necessidades das diferentes partes interessadas (stakeholders) e simultaneamente desenvolver uma solução-sistema balanceado ao longo de seus processos no ciclo de vida. Trata-se de uma solução-sistema por abordar tanto os aspectos relacionados ao produto quanto aqueles relacionados à organização para desenvolver uma solução para as necessidades levantadas.

É considerado o balanceamento destas atividades, ao invés da otimização, para buscar o equilíbrio no atendimento destas necessidades dos diferentes stakeholders.

Finalmente, o escopo do desenvolvimento inclui o ciclo de vida como um todo para não limitar a solução-sistema apenas às fases de desenvolvimento e produção.

Para simplificar a aplicação dos conceitos da metodologia se escolheu dois processos relacionados ao produto: Operação e descarte e dois processos relacionados à organização: Desenvolvimento e vendas. Este levantamento dos ciclos de vida do produto, juntamente com suas fases selecionadas, aplicados ao produto proposto aparecem conforme figura 1.

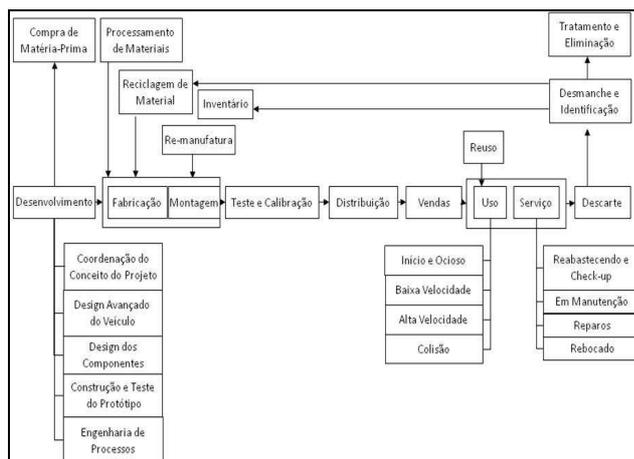


Figura 1 – Ciclo de vida do produto

1.1 Análise dos Cenários do Ciclo de Vida

Os cenários do ciclo de vida são aqueles estados pelos quais o produto passa ao longo de seu ciclo de vida; para este estudo serão considerados aqueles cenários dos processos escolhidos para o produto e para a organização conforme tabela 1.

Organização	Desenvolvimento	Concepção	Desenho avançado	Desenho de componentes	Testes e ajustes	Ramp-up Produção
	Vendas	Planejamento logístico	Entregas	-	-	-
Produto	Operação (Uso)	Start Espera	Baixa velocidade	Alta velocidade	Colisão	-
	Descarte	Desmontagem	Entregas	Condicionamento	Reparo	-

Tabela 1 - Cenários dos processos escolhidos

1.1.1 Escopo de Esforço de Desenvolvimento

De todos os cenários do Ciclo de Vida, relacionados aos processos escolhidos para o produto e para a organização, foram escolhidos os cenários abaixo, conforme tabela 2, para simplificarmos a aplicação destes ao automóvel fictício.

Organização	Desenvolvimento	Concepção
	Vendas	Entregas
Produto	Operação (Uso)	Alta velocidade
	Descarte	Desmontagem

Tabela 2 - Escopo do esforço de desenvolvimento

1.2 Identificação dos Stakeholders e seus Interesses

Nas figuras abaixo, é possível observar quais são os interessados nos processos de Operação e Descarte do produto, conforme tabela 3, juntamente com os interessados nos processos de Desenvolvimento e Vendas, conforme tabela 4.

Processos Escolhidos	PRODUTO	
	OPERAÇÃO	DESCARTE
Cenário do escopo de esforço	Alta Velocidade	Desmontagem
STAKEHOLDERS e seus INTERESSES	Condutor – Dirigibilidade	Proprietário – Redução do preço
	Passageiros – Ruído	Governo – Política para reciclagem de veículos
	Outros Veículos – Sinização	Usina de reciclagem – Facilidade para desmontar
	Legisladores (fiscalização) - Identificação	Comunidade – Segurança no trânsito
	População – Nível de poluição	

Tabela 3 – Stakeholders dos processos de Operação e Descarte

Processos Escolhidos	ORGANIZAÇÃO	
	DESENVOLVIMENTO	VENDAS
Cenário do escopo de esforço	Concepção	Entregas
STAKEHOLDERS e seus INTERESSES	Agências de proteção ambiental – Não prejudicar o meio ambiente	Vendedores – Esforço de vendas e maior # de carros vendidos
	Cientes – Satisfação com o produto	Distribuidores – Agilidade nas entregas / Prazos
	Fornecedores – Fidelidade	Concorrentes
	Reguladores de segurança – Diminuir acidentes	Fabricante – Pedidos
	Academia – Novas pesquisas e investigação, subvenções	Consumidor – Cumprimento e contrato
	Scrapers – Retiro de unidades em mau estado	Acionistas – Investimento
	Distribuidores – Qualidade do produto	
	Concorrentes – Conhecimento da tecnologia	
	Organismos de padronização – Cumprir normas	
	Departamento de transportes – Redução de custos	

Tabela 3 – Stakeholders do escopo dos processos de Desenvolvimento e Vendas do produto

1.3 Identificação de Requisitos de Stakeholders

Após identificados aos Stakeholders e suas necessidades, considerando a simplificação do processo metodológico consideraremos apenas um stakeholder de Operação, um de Descarte, um de Desenvolvimento e um de Vendas e determinaremos para cada um deles uma Medida de Efetividade (MOE - Measure Of Effectiveness) e seu requisito correspondente, conforme demonstrado na tabela 4.

STAKEHOLDER	INTERESSES	MOE's	REQUISITO
FORNECEDORES	Fidelidade	Pedidos efetuados / Pedidos cumpridos o mês.	Aquisição dos componentes do carro de acordo com as especificações e qualidade definidas.
VENDEDORES	Esforço de Vendas Maior # carros Vendidos	Quotas mensais de venda	A produção mensal do produto deverá garantir o cumprimento dos compromissos feitos com os clientes.
CONDUTOR	Dirigibilidade	Menor tempo de resposta aos comandos do condutor	O tempo de resposta aos comandos feitos por o condutor deverão ser menores do que a competência.
USINA DE RECICLAGEM	Facilidade para desmontar	Homem/Hora necessário para desmontar carro.	As características de desenho do Green-Car deverão permitir um processo de desmontagem simples.

Tabela 4 – Medidas de Efetividade para stakeholders

A partir destas informações do que é considerado um resultado para cada interessado no

produto, pode-se detalhar melhor cada requisito, conforme observado na tabela 5.

ID	Requisito	Tipo	Aplicação	PPO	Restrição	Verificação
Concepção	Adquirir os componentes do carro de acordo com as especificações e nível de qualidades definidos.	C	M	O	Não	T
Entregas	A produção mensal de carros deverá garantir a entrega do 100% dos compromissos feitos.	D	M	O	Não	I
Alta velocidade	O veículo deve possuir sistema de aceleração para acelerar até a velocidade de 100km/h em 5.9 (+/- 1) segundos.	D	M	Pd	Não	T
Desmontagem	O pessoal deverá estar treinado para desmontar, identificar e segregar as partes nos tempos estabelecidos.	D	M	Pd	Não	I

Tipo: Condição, Função, Desempenho, Interface. PPO: Produto (Pd), Processo (Pr), Organização (Org)
 Aplicação: Mandatória, Desejável, Opcional. Verificação: Teste, Inspeção, Demonstração, Análise

Tabela 5 – Detalhamento dos Requisitos

2. Análise Funcional

O objetivo da Análise Funcional é identificar os limites do sistema e as interfaces funcionais externas, isto é, as trocas de energia, informação e matéria. Para isto, são identificadas as funções primárias e os elementos do ambiente que interagem com o sistema.

2.1 Análise Funcional do Produto

A Análise Funcional do Produto demonstra as trocas de energia, informação e matéria, no caso desta aplicação do GreenCar. Com a finalidade de apenas exemplificar esta troca, foi selecionado o processo de Descarte. Na Análise Funcional de Descarte, pode-se observar as interfaces existentes no processo de desmontagem do carro, conforme figura 2.

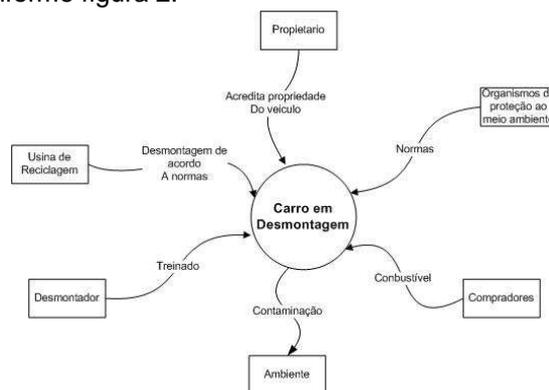


Figura 2 – Análise Funcional de Descarte – Desmontagem

2.2 Análise Funcional da Organização

Assim como é possível estabelecer quais são as interfaces entre o produto e seus diferentes interessados, também é possível analisar quais são as trocas entre o grupo responsável pelas diferentes responsabilidades no desenvolvimento de um produto e seus interessados. A fim de exemplificar a Análise Funcional da Organização, foi realizado o levantamento das interfaces entre

processo de Concepção e seus interessados, conforme figura 3 e o processo de Entregas, pertencente ao setor de vendas, conforme figura 4.

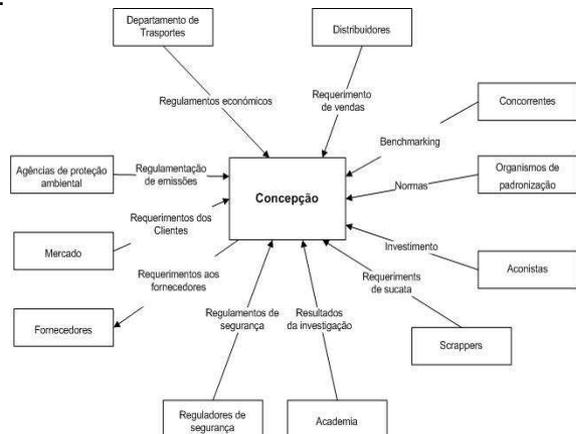


Figura 3 – Análise Funcional de Desenvolvimento – Concepção.

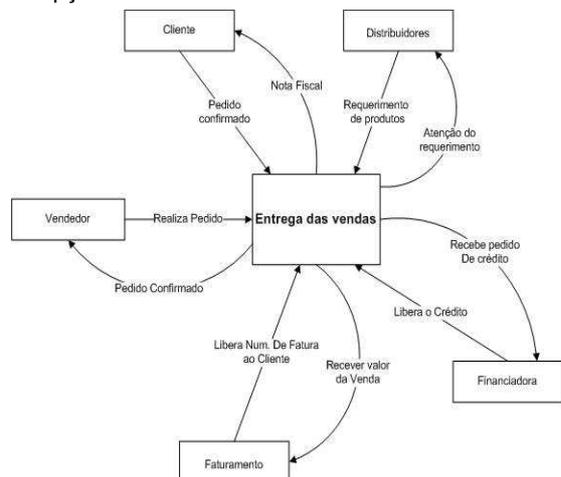


Figura 4 – Análise Funcional de Vendas - Entregas

2.3 Digrama de Transição de Estados

O diagrama de transição de estados é uma ferramenta de modelagem que descreve o comportamento do sistema dependente do tempo, sendo o estado deste, um conjunto de circunstâncias ou atributos que caracterizam um objeto em determinado momento. Eles são atualmente utilizados na metodologia UML (Unified Modeling Language).

Marmion (2004) descreve este diagrama como sendo uma ferramenta que modela os estados que um objeto pode ter, os eventos que alteram seu estado, as circunstâncias que alteram seu estado e as respostas do sistema à mudança de estados (ação), durante a vida do objeto.

Para compreendê-los, faz-se necessário entender o que é determinado como estado, evento, transição e ação. Um estado é qualquer condição na qual um objeto satisfaz uma condição, executa alguma ação ou aguarda por

um evento. Um evento é qualquer acontecimento que provoca uma transição de estados. Uma transição é a mudança de estado de um objeto. Uma ação é a resposta de um objeto à mudança de estado.

No cenário escolhido pelo trabalho, um carro em alta velocidade, por exemplo, é possível analisar o fluxo da transição dos estados que o sistema assume conforme a figura 5.

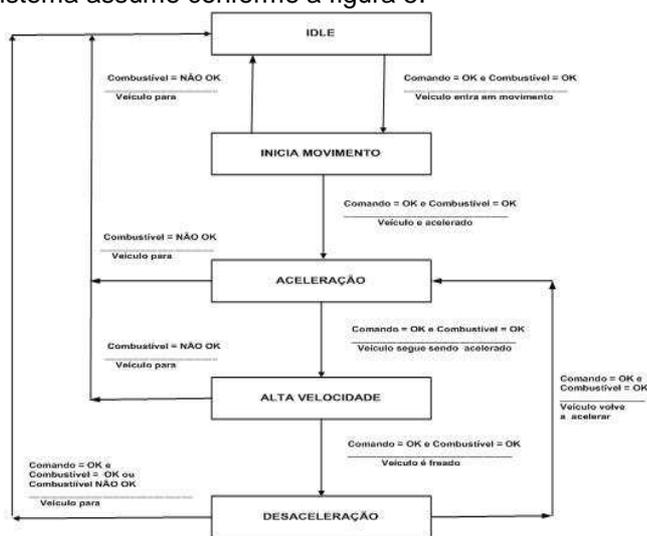


Figura 5 - Digrama de Transição de Estados

2.4 Análise de Falhas (FMECA)

Segundo a Análise de Falhas FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis), para cada potencial falha, deve-se analisar o perigo desta falha, sua consequência, a gravidade de sua ocorrência (medida de 1 a 5, sendo sua medida crescente), a causa desta, sua probabilidade (de 1 a 5, sendo sua medida crescente), dificuldade de detecção da falha (de 1 a 5, sendo sua medida crescente), seu risco e as ações que se devem tomar. Levando em consideração esta análise, e o produto em exemplo, podemos ter como exemplo de Análise de Falhas da Falha “problema no freio”:

- a) Perigo: Veículo não para;
- b) Conseqüência: Acidente Gravidade: 5;
- c) Causa: Pastilha de freio gasto;
- d) Probabilidade: 4;
- e) Dificuldade de detecção: 2;
- f) Risco: gravidade x probabilidade x detecção = 5 x 4 x 2 = 40;
- g) Ações: Adicionar sensores que informam desgaste da pastilha de freio (Não funções).

De acordo com o fator de risco obtido há falhas que podem causar conseqüências mais graves do que outras e por isso deve-se priorizar ações para evitar ou diminuir estas conseqüências, mediante funções preventivas e funções de proteção.

2.5 Análise de Comportamento

A Análise de Comportamento de um determinado processo, faz parte da Análise Funcional. Entretanto, na Análise Funcional consideramos as trocas existentes entre stakeholders e processos, já na Análise de Comportamento é realizado um diagrama que permite desmembrar quais são as atividades de um determinado processo. Para exemplificar esta Análise, dentro do contexto do produto automóvel, podemos analisar o Diagrama de Comportamento do processo de Desmontagem na figura Assim como na Análise Funcional do Produto, na Análise do Comportamento, deve-se representar os processos por diagramas de comportamento. Será representado o processo de Desmontagem na figura 6.

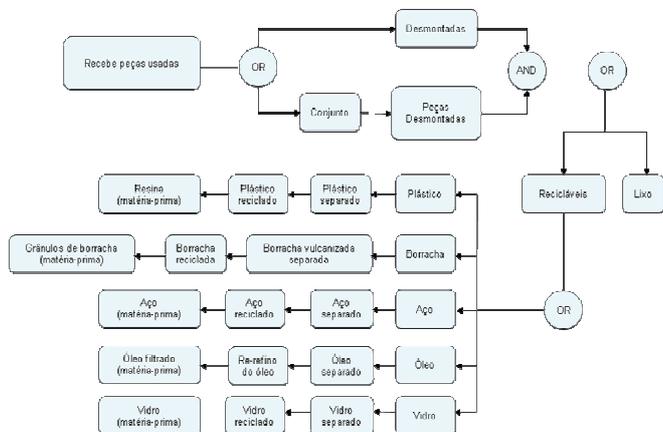


Figura 6 – Diagrama de Comportamento -Desmontagem

3. Análise de Arquitetura

De acordo com o IEEE, Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica (1995), a arquitetura é o mais alto nível de um sistema em seu ambiente. A arquitetura, em um dado período, é a forma de organização ou estrutura de um sistema ou componentes e a interação de suas interfaces.

Para definir a arquitetura é necessário identificar os sub-sistemas e desta forma definir qual o conteúdo que deverá ser analisado. Para cada subsistema deverá ser especificado seu conteúdo, ou seja, determinar as dependências do sistema, sua interação e interfaces.

De acordo com estas informações a Análise de Arquitetura segue, conforme será visto neste trabalho, alguns passos passando por Diagrama de Fluxo de Arquitetura, Matriz de Alocação de Funções e Interfaces Físicas.

3.1 Diagrama de Fluxo de Arquitetura do Produto

Aplicado à realidade do produto escolhido, o GreenCar, no cenário de “alta velocidade”, o Diagrama de Fluxo de Arquitetura do Produto, é possível demonstrarmos as interfaces “lógicas”

relacionadas, considerando já o produto terminado, conforme figura 7.

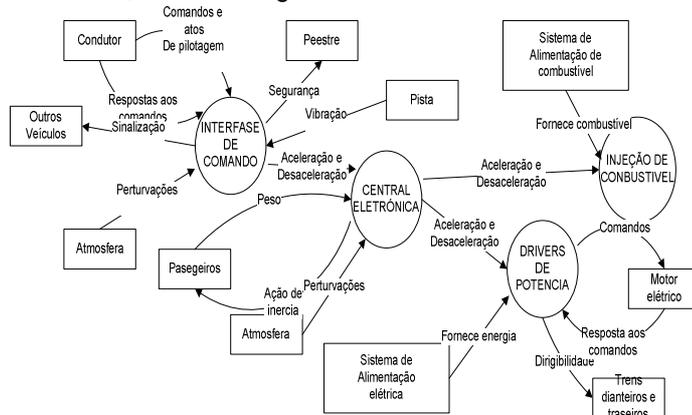


Figura-8 Digrama de fluxo de Arquitetura do Produto

3.2 Matriz de Alocação de Funções do Produto

Tendo como referência as funcionalidades do Diagrama de Fluxo de arquitetura, é possível determinar as principais funções necessárias para o seu funcionamento. Aplicadas ao caso do automóvel, um levantamento de algumas de suas funções e seus subsistemas correspondentes geraram a tabela 6.

Funções	Subsistemas			
	Accelerador eletrônico	Central eletrônica	Driver de potencia	Injetor de combustível
Prover Interface de comando				
Prover tratamento dos dados				
Prover suprimento de potência				
Prover injeção de combustível				

Tabela 6 - Matriz de Alocação de Funções do Produto

3.3 Interfaces Físicas do Produto

Tendo como referência o diagrama de fluxo da arquitetura, é possível elaborar o diagrama de Interfaces físicas, que torna possível mostrar o relacionamento “físico” das partes do produto. Na figura 9 é possível analisar quais foram as interfaces ocorrentes em alguns processos do produto em discussão: carro.

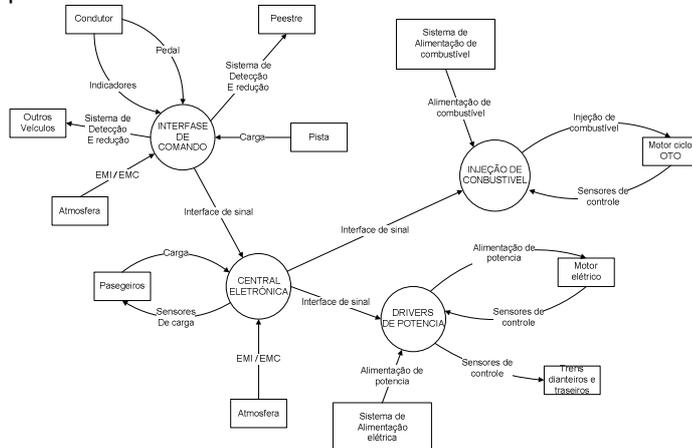


Figura 9 – Interfaces Físicas do Produto

3.4 Digrama de Fluxo de Arquitetura da Organização

Considerando que, o escopo de esforço de desenvolvimento deste trabalho, foi realizado no processo de Vendas do produto analisado, qual seria o fluxo de relacionamento entre a comercialização do produto e seus interessados, sendo construído desta forma, uma análise do fluxo de Arquitetura de um processo da organização, não considerando o produto, apenas seus stakeholders. O Diagrama da figura 10 mostrar o relacionamento “lógico” dos stakeholders (pessoas, outras organizações, etc), para cumprir o processo de comercialização.



Figura 10 - Digrama de Fluxo de Arquitetura da Organização

3.5 Matriz de alocação de funções – Sistema da Organização

Considerando os stakeholders levantados, as funções do produto são estabelecidas. A relação destas funções com seus interessados formam a Matriz de Alocação de Funções, onde é possível observar o nível de relacionamento entre as funções e stakeholders. A Tabela 7 mostra este relacionamento no produto aqui estudado, o automóvel ecologicamente correto.

Item	Função	Secretária	Gerente Geral	Marketing	Logística	Vendas	Alessoria Jurídica	RRHH	Alessoria Técnica	Produção
1	A produção mensal de carros deverá garantir a entrega do 100% dos compromissos feitos	A			A	R			O	A
2	Controle de Regulamentação e Normas						A		R	
3	Gestão de Clientes	A	O	R			O			
4	Gestão de Distribuidores	A		A		R	A		A	O
4	Gestão de Fornecedores	A			R	O			A	O
5	Gestão de Scrappers	A			R	A	A		A	A
6	Coordenação Acadêmica	A	A					R	A	
7	Benchmarking	A	O	R		A	A		A	A
		A – Apoio		R – Responsável		O – Orientação				

Tabela 7 - Matriz de Alocação de Funções da Organização - Comercialização

Conclusão

Após a conclusão do projeto hipotético GreenCar, foi observado que a aplicação dos conceitos da Engenharia Simultânea de Sistemas são adequados para o desenvolvimento de

produtos complexos (com nível de adaptação inferior ao originalmente imaginado).

Por meio do estudo de caso, verificou-se que a aplicação do arcabouço teórico de Loureiro (1999) é adequado ao desenvolvimento de produtos complexos e ao ambiente de desenvolvimento de produtos e capaz de desenvolver uma solução balanceada para atender às necessidades das partes interessadas. Somado a isto, permite antecipar decisões importantes que aconteceriam na fase de aplicação ou construção do projeto para a fase de desenvolvimento do projeto.

Este trabalho pode servir como uma referência metodológica para o desenvolvimento de outros projetos relacionados, sendo esta a maior contribuição deste trabalho.

Referências

- DORAN, T. IEEE 1220:For Practical Systems Engineering. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1631953&userType=inst>. Acesso em: 12 dez. 2009.
- IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Systems engineering: application and management of the systems engineering process. New York: IEEE, 2005.
- LOUREIRO, G. A system engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products. 1999. Tese (Doutorado em Systems Engineering), Loughborough University, Loughborough, Inglaterra. 1999.
- LOUREIRO, G. Introdução à Engenharia de Sistemas: disciplina oferecida pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA São José dos Campos,SP, fev. a jul. de 2009. Notas de Aula.
- MARMION, J. Representação e Validação do projeto transacional mediante Diagramas de Transição de Estados - Instituto Brasileiro de Amigabilidade e Usabilidade, 2004. Disponível em <http://www.ibrau.com.br/diagramasdetransicaoodeestados.htm>. Acesso em: 15 nov.2009.