



SPOLM 2009

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 05 e 06 de agosto de 2009.

053/2009 - MAPEAMENTO DO PROCESSO DE VALIDAÇÃO DE UM VEÍCULO DE SONDAÇÃO UTILIZANDO MÉTODO *IDEF0*

Fernando Amâncio dos Santos

Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial - CTA

Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias – São José dos Campos/SP

faz@bighost.com.br

Geilson Loureiro

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Av dos Astronautas, 1.758 - Jd. Granja - São José dos Campos/SP

geilson@lit.inpe.br

Jorge Muniz Junior

Universidade Estadual Paulista - UNESP

Universidade de Taubaté - UNITAU

Rua 04 de Março, nº 432 – Centro – Taubaté/SP

jorgemuniz86056@gmail.com

Resumo

A aplicação de engenharia de sistemas tem papel importante para as empresas que desenvolvem sistemas complexos como os da indústria espacial, pois permite uma visão do ciclo de vida do produto. O objetivo deste artigo é propor um modelo que integre engenharia de sistema e sistemas de gestão da qualidade. O estudo é delimitado no desenvolvimento de produtos aeroespaciais em organizações brasileiras, especificamente na validação de um Veículo de Sondagem. A partir do modelo é realizada uma pesquisa analisando-se os documentos aplicáveis e por fim mapeando-se o processo com a utilização do método *Integration Definition for Function Modeling*, que permite uma visão gráfica do processo de validação onde resultados (saídas) têm a qualidade controlada.

Palavras-Chaves: Engenharia de Sistemas; Qualidade; Processos.

Abstract

The systems engineering using has an important role for enterprises that develop complex systems as space industry because it releases the product lifecycle vision. The objective of this article is to provide a model that integrates systems engineering and quality management systems. The study is limited to aerospace product

development in Brazilian organizations focused on the sounding rocket validation. It is performed from the model a research with the *Integration Definition for Function Modeling* method releasing a graphic vision of the validation process where the results (exits) have their quality controlled.

Keywords: Systems Engineering; Quality; Process.

1. INTRODUÇÃO

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2000) orienta que a organização não apenas assegure o desempenho e funcionamento básico do projeto e desenvolvimento de produtos ou processos, mas também considere o ciclo de vida para atingir o desempenho esperado pelos clientes e outras partes interessadas. Segundo Garvin (1987), qualidade inclui os esforços despendidos no ciclo de vida de um produto, considerando-se as despesas com serviços e manutenção e, portanto, não está apenas no processo produtivo, no método de trabalho, no produto em si ou atendimento no momento da compra do produto. Todo um conjunto de processos deve ser determinado para que as necessidades e requisitos dos clientes sejam atendidos.

Algumas indústrias, como as de aviação e aeroespacial, determinam requisitos a seus fornecedores considerando atividades como controle de registros durante a vida do produto, gestão da configuração, gestão de riscos e projetos, condições de preservação do produto como detecção e remoção de objetos estranhos, controle de fornecedores subcontratados, ordem de fabricação com a contabilização dos produtos fabricados ou produtos não-conformes e serviços pós-entrega. Percebe-se que estas atividades estão interligadas e constituem um sistema ao longo do ciclo de vida de um produto complexo.

O sistema de gestão da qualidade implantado na indústria aeroespacial é focado no atendimento aos requisitos de normas de qualidade e não nos requisitos especificados e acordados com o cliente ao longo do ciclo de vida de produtos, o que afeta a cadeia de fornecimento, os tempos de entrega e a qualidade do produto. Não há uma relação explícita entre os processos do ciclo de vida e o sistema da qualidade.

Segundo Thompson (1999) há pouca atenção aos projetos de sistema de gestão da qualidade que envolvam processos organizacionais de negócios em que o sistema de gestão da qualidade está alinhado com as necessidades do negócio e indica a necessidade de uma abordagem de sistema.

Engenharia de sistemas considera tanto as necessidades técnicas quanto de negócios para todos os clientes com a meta de fornecer produtos de qualidade que satisfaçam as necessidades dos usuários. É uma abordagem multidisciplinar colaborativa de engenharia para derivar, desenvolver e verificar uma solução sistema balanceada ao longo do ciclo de vida e que atenda às expectativas dos *stakeholders* (LOUREIRO, 1999).

Os tradicionais sistemas das empresas são documentados de forma descritiva e não permitem uma visão sistêmica dos processos e suas interações, bem como uma visão completa do ciclo de vida de um produto; ou seja, os requisitos dos clientes determinados na sua fase inicial podem não ser considerados em suas fases subsequentes permitindo que a qualidade final não esteja identificada com agregação de valor.

Os objetivos do presente trabalho é apresentar um modelo que integre Gestão da Qualidade e Engenharia de Sistemas para preencher esta necessidade e mapear o processo de validação e seus sub-processos para um veículo de sondagem.

A figura 1 ilustra a proposta, onde o modelo proposto emprega o método denominado *Integration Definition for Function Modeling*, denominado IDEFO, o que conforme ilustra a Figura 1, permite a avaliação dos processos e sub-processos das áreas

de engenharia de sistema por meio de entradas, saídas, controles e mecanismos (NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY, 1993). Esta metodologia fornece vantagens tais como: possibilidade de complementar a natural limitação de descrições textuais dos processos; possibilidade de fazer análises concisas e precisas, mesmo para processos complexos; facilidade de rever os processos sob custos e prazos menores; facilidade de apresentação de alternativas de melhorias; e, redução de ambigüidades, em face à natureza gráfica (MARANHÃO; MACIEIRA, 2004).

A delimitação do artigo está no processo de validação de um veículo de sondagem de dois estágios. O primeiro estágio é composto por um propulsor denominado *booster* e o segundo por um propulsor. Ambos são carregados com propelente sólido. Este veículo é estabilizado por um conjunto de empenas com a missão de lançar cargas úteis em ambiente de microgravidade. Cada estágio possui um conjunto de três empenas. A separação entre os dois estágios é feita com a ignição do segundo estágio (PALMÉRIO; *et al.*, 2005).

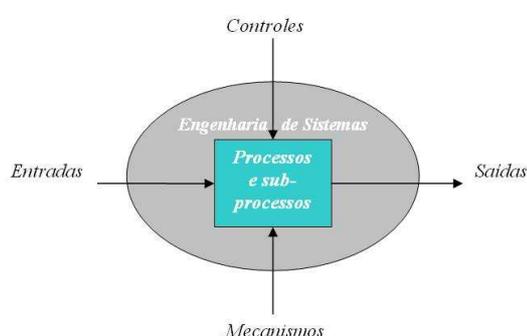


FIGURA 1 - Integração da engenharia de sistemas e gestão da qualidade

O conhecimento de engenharia de sistemas integrado a sistemas de gestão da qualidade é uma contribuição para área acadêmica bem como de pesquisa e desenvolvimento de projetos espaciais no Brasil. A segurança em centros de lançamento espaciais é um exemplo de engenharia que dá suporte ao processo de engenharia de sistemas garantindo que o sistema resultante seja capaz de desempenhar a missão proposta em seu ambiente operacional (NIWA; MUNARETTO, 2007).

A seguir é apresentada a revisão teórica que aborda os conceitos sistemas, engenharia de sistemas, o modelo integrado de capacidade e maturidade e, o método IDEF0. Na seção 3 aborda-se a classificação e coleta de dados da pesquisa. A seção 4 está estruturada por meio do processo de validação do veículo de sondagem. A seção 5 apresenta a discussão dos resultados obtidos. Finalmente, na seção 6 são apresentados os comentários e recomendações.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção discute a abordagem da engenharia de sistemas, o modelo de ciclo de desenvolvimento de produtos e o método IDEF0 que integra sistemas de gestão da qualidade e engenharia de sistemas.

2.1. ABORDAGEM DE SISTEMAS SEGUNDO FEIGENBAUM

Walter Shewhart trabalhou com a melhoria de processos por meio dos princípios de controle estatístico da qualidade. Estes princípios foram refinados por Deming, Crosby e Juran (CARNEGIE MELLON INSTITUTE, 2006). Porém, Feigenbaum foi um dos pioneiros a definir a abordagem de engenharia de sistemas para

a qualidade por meio de uma nova engenharia que estava surgindo: a teoria dos sistemas (WATSON, 2005).

Um sistema da qualidade, segundo Feigenbaum (1988), é uma combinação sobre estrutura de trabalho de operações por toda fábrica e organização, documentada em procedimentos gerenciais e técnicos integrados, para direcionar ações coordenadas das pessoas, máquinas e informações da empresa da melhor e mais prática forma para garantir a satisfação da qualidade do cliente e custos da qualidade econômicos. Engenharia de sistemas é um processo tecnológico de criação e estruturação de sistemas da qualidade pessoas-máquinas-informações eficaz.

2.2. ENGENHARIA DE SISTEMAS

Existem modelos, princípios e leis que se aplicam a sistemas ou suas subclasses, qualquer que seja seu tipo, natureza dos elementos e as relações ou forças que atuam entre eles. A teoria geral dos sistemas contém a formulação e derivação dos princípios válidos para os ‘sistemas’ em geral. Podem-se fundamentar os princípios aplicáveis aos sistemas em geral, quer sejam de natureza física, biológica e sociológica, por exemplo. Uma consequência da existência de propriedades gerais dos sistemas é o aparecimento de semelhanças estruturais em diferentes campos (BERTALANFFY, 2008).

Enquanto a teoria dos sistemas tem o caráter de ciência básica, encontra seu correlato na ciência aplicada. Este desenvolvimento está ligado à moderna automação, distinguindo os seguintes campos: engenharia de sistemas, pesquisa operacional e ergonomia (BERTALANFFY, 2008).

O interesse teórico da engenharia de sistemas e da pesquisa operacional reside no fato das entidades cujos componentes são muito heterogêneos – homens, máquinas, edifícios, valores monetários, importação de matérias-primas, exportação de produtos e muitos outros itens – poderem ser submetidas com êxito à análise dos sistemas. A engenharia de sistemas emprega a metodologia da cibernética, da teoria da informação, a análise das redes, os fluxogramas, os diagramas de bloco, etc. Entram também considerações da Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 2008). A figura 2 mostra o desdobramento da definição de sistemas para as diversas ciências que se utilizam do movimento sistêmico.

Engenharia de sistemas, segundo Fortescue e Stark e Swinerd (2003), é um processo lógico de atividades que transforma um grupo (uma série) de requisitos que crescem do objetivo de uma missão específica para uma completa descrição de um sistema que atende ao objetivo de uma maneira otimizada. Garante que todos os aspectos de um projeto foram considerados e integrados de uma maneira consistente e é baseada no princípio de que não existe somente uma solução para atender aos objetivos. Algumas são melhores que outras, baseado na discriminação do parâmetro tal como custo, massa ou alguma medida de desempenho de sistema. O problema é balancear estas avaliações desconexas em uma solução simples.

Blanchard (2008) prefere como uma aplicação de esforços científicos e de engenharia para: transformar uma necessidade operacional em uma descrição dos parâmetros de desempenho do sistema e uma configuração de sistema por meio do uso de um processo interativo de definição, síntese, análise, projeto, ensaio e avaliação, e validação; integrar parâmetros técnicos relacionados e garantir a compatibilidade de todas as interfaces físicas, funcionais e de programas de uma maneira a aperfeiçoar a definição total do projeto; e integrar confiabilidade, manutenibilidade, ergonomia, segurança, produtividade, apoio (serviços associados), disponibilidade e outros fatores em um esforço total de engenharia para atender aos objetivos de custo, tempo e desempenho técnico.

A gestão total da qualidade pode ser descrita como uma abordagem gerencial totalmente integrada que endereça a qualidade do produto/sistema durante todas as fases do ciclo de vida em todos os níveis na cadeia hierárquica do sistema como um todo. Fornece uma orientação preventiva para a qualidade e é focada no projeto do sistema e atividades de desenvolvimento bem como na fabricação e produção, manutenção e apoio, e funções relacionadas. É um mecanismo de unificação que liga as capacidades humanas à engenharia, produção e processos de apoio. A ênfase é a satisfação total do cliente, a prática interativa da melhoria contínua e uma abordagem organizacional integrada. Com relação ao projeto do sistema e esforço de desenvolvimento destaca-se: o projeto dos processos que será utilizado para fabricar e produzir componentes do sistema e, o projeto da infra-estrutura de apoio que fornecerá uma manutenção contínua daquele sistema por todo o ciclo de vida planejado. Ou seja, os princípios da gestão da qualidade total devem estar inseridos dentro do processo de engenharia de sistemas (BLANCHARD, 2008).

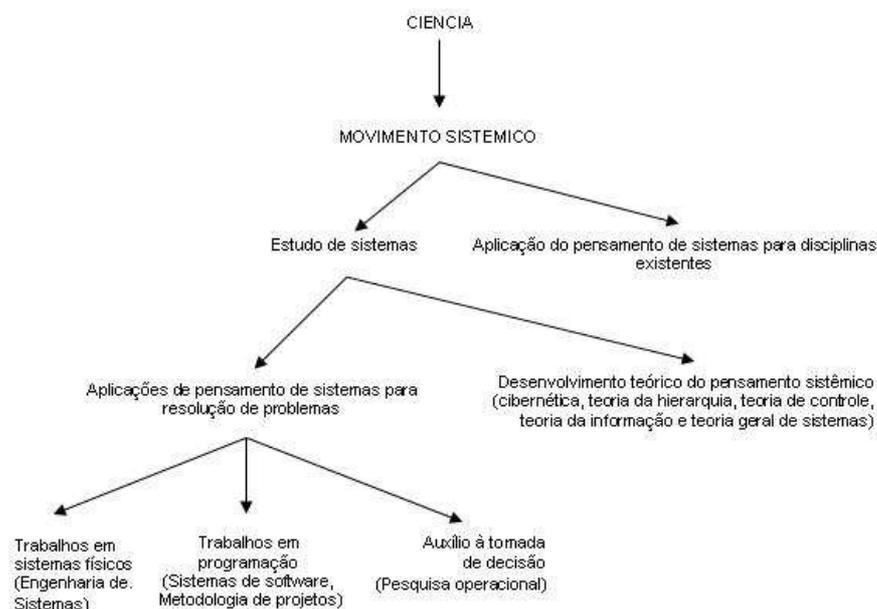


FIGURA 2 - Áreas de atividade do movimento sistêmico

Fonte: adaptado de Mason-Jones; Berry e Nain (1998)

2.3. MODELO INTEGRADO DE CAPABILIDADE E MATURIDADE (CMMI)

Esta seção está baseada no modelo CMMI e no modelo de ciclo de desenvolvimento descritos pela CARNEGIE MELLON UNIVERSITY (2006).

2.3.1. O que é CMMI ?

O modelo CMMI consiste em práticas que focam o desenvolvimento e atividades de manutenção que cobrem o ciclo de vida desde a concepção até a entrega e manutenção. As organizações devem ser hábeis em gerenciar e controlar este complexo processo de desenvolvimento e manutenção. O gerenciamento efetivo dos ativos de uma organização é crítico para o sucesso do negócio. As organizações são desenvolvedoras de produtos e serviços que necessitam de uma maneira de gerenciar de forma integrada suas atividades de desenvolvimento como parte da obtenção de seus objetivos de negócio. A figura 3 ilustra três dimensões críticas que as organizações tipicamente focam: pessoas, procedimentos e métodos, e ferramentas e equipamentos.

Os processos permitem alinhar a forma que se faz negócios, o crescimento e

incorporação de conhecimento e também permitem alavancar recursos e examinar as tendências dos negócios. Um foco em processos fornece uma infra-estrutura necessária para negociar com um mundo em plena mudança e maximizar a produtividade das pessoas além do uso da tecnologia ser mais competitiva. Processos efetivos fornecem também um veículo de introdução e uso de nova tecnologia de maneira a atender da melhor maneira os objetivos de negócios da organização. O CMMI é um modelo de referência que cobre atividades de desenvolvimento e manutenção aplicados a serviços e produtos. Organizações advindas de muitas indústrias, incluindo a indústria aeroespacial, bancos, hardware, software, defesa, automobilística e telecomunicações a utilizam.

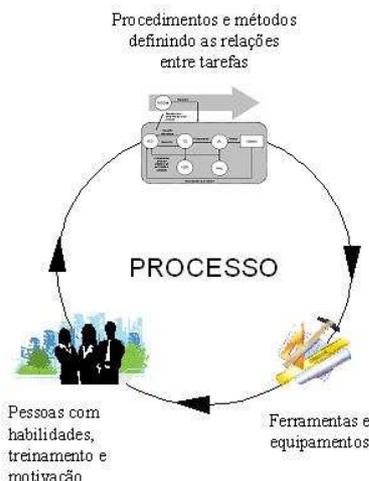


FIGURA 3 - Foco nas três dimensões típicas

Fonte: adaptado de CARNEGIE MELLON UNIVERSITY (2006)

2.3.2. Modelo de ciclo de desenvolvimento do CMMI

Iniciativas de melhoria de processos bem sucedidas devem ser orientadas para os objetivos de negócios da organização, como por exemplo, a redução do tempo de ciclo de vida do produto. As áreas de processos de engenharia de sistemas cobrem o desenvolvimento e a manutenção das atividades com o uso da terminologia da engenharia de tal forma que a utilização de qualquer disciplina técnica do processo de desenvolvimento do produto (como engenharia de software ou engenharia mecânica) possa usá-las na melhoria do processo.

As áreas de processos de engenharia também integram os processos associados com diferentes disciplinas de engenharia em um processo singular de desenvolvimento de produto, apoiando uma estratégia de melhoria de processo orientada ao produto. Esta estratégia foca objetivos de negócios essenciais ao invés de disciplinas técnicas específicas. Esta abordagem de processo evita efetivamente a tendência de mentalidade departamentalizada da organização.

As áreas de processo de engenharia são aplicadas ao desenvolvimento de qualquer produto ou serviço no domínio do desenvolvimento (ex, software, hardware, serviços ou processos). São elas:

- a) desenvolvimento de requisitos;
- b) gestão de requisitos;
- c) soluções técnicas;
- d) integração do produto;
- e) verificação; e,

f) validação.

A figura 4 mostra a interação entre elas. A área de processo Desenvolvimento de Requisitos (RD) identifica as necessidades dos clientes e traduz estas necessidades em requisitos do produto. Este conjunto de requisitos do produto e componentes descreve claramente o desempenho do produto, características de projeto, requisitos de verificação e assim por diante, em termos de entendimento e uso. Esta área de processo fornece requisitos para área de processo Solução Técnica (TS), onde os requisitos são convertidos na arquitetura do produto, no projeto do componente do produto e no próprio componente (codificação, fabricação). Requisitos também são fornecidos para área de integração do produto (PI) onde os componentes do produto são combinados e as interfaces são verificadas para garantir que eles atendem aos requisitos fornecidos pelo desenvolvimento de requisitos.

O processo de gerenciamento de requisitos (REQM) mantém os requisitos. Descreve as atividades para obter e controlar mudanças de requisitos e garantir que outros planos e dados relevantes são mantidos correntes. Fornece rastreabilidade de requisitos do cliente para o produto e para o componente. Garante que mudanças para requisitos são refletidas nos planos de projeto, atividades e resultados.

A verificação (VER) garante que os resultados selecionados atendem aos requisitos especificados. Seleciona os resultados e métodos de verificação que serão utilizados para verificar os resultados contra os requisitos. A validação (VAL) homologa os produtos contra as necessidades dos clientes. Podem ser realizados em ambiente operacional ou ambiente operacional simulado.

Os processos de engenharia podem ser implementados repetidamente sobre o produto para garantir que estes processos sejam adequadamente alocados antes da entrega ao cliente. Recorrência e interação destes processos habilitam o projeto a garantir qualidade de todos os componentes do produto antes da entrega ao cliente.

A garantia da qualidade do produto e processo apóia todos os processos anteriores fornecendo práticas específicas para objetivamente avaliar o desempenho dos processos, dos resultados e serviços contra a descrição dos processos aplicáveis, normas e procedimentos.

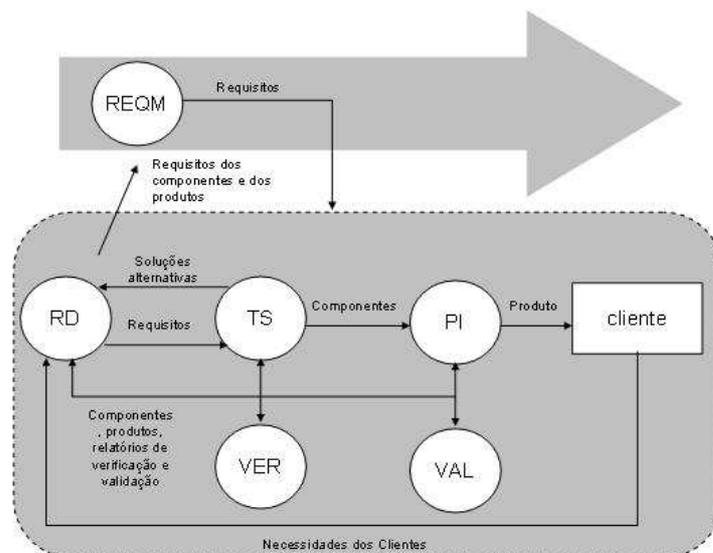


FIGURA 4 - Os processos de engenharia de sistemas e suas relações
Fonte: adaptado de CARNEGIE MELLON UNIVERSITY (2006)

2.3.3. Método IDEF0

A proposta do método é a utilização da ferramenta IDEF0, que é um diagrama de bloco (figura 5) e representa funções ou atividades para modelar sistemas. Este bloco representa uma atividade ou grupo de atividades que transforma entradas em saídas sob a influência de controles usando mecanismos fornecidos. As entradas são objetos a serem processados ou transformados pela função ou atividade e podem ser objetos físicos ou informações (NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY, 2003).

Os controles são definidos na forma de informação e são usados para ativar, regular e sincronizar a função, como ordens de fabricação e engenharia, restrições, planos de fabricação, cronogramas, diretrizes gerenciais e regulamentos. Os mecanismos podem ser recursos físicos e/ou informações, como arquivos de dados, banco de dados, máquinas, instalações, sistemas de software e operadores humanos. As saídas são objetos processados pela função ou atividade. Podem ser objetos físicos ou informações. Saídas de uma função podem ser entradas de outras funções. Se a saída é uma informação, ela pode ser atribuída como um controle de entrada, uma atividade de entrada ou um mecanismo de dados pelas outras funções. Se a saída é um objeto físico somente poderá ser usada como uma entrada de atividade ou mecanismo de entrada pelas outras funções (LOUREIRO, 1999).

A metodologia IDEF0 modela processos de qualquer natureza, mediante a seqüência de diagramas inter-relacionados logicamente, iniciados pela função macro do sistema. Este diagrama é desdobrado em outros diagramas detalhados a fim de completar o objetivo do mapeamento (MARANHÃO; MACIEIRA, 2004).

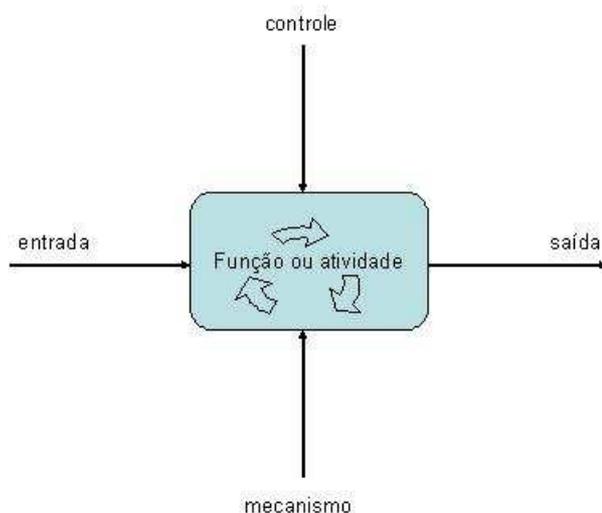


FIGURA 5 - Diagrama IDEF0

Fonte: adaptado de NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (1993)

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A pesquisa é classificada sob o ponto de vista de sua natureza como aplicada, onde se pretende gerar conhecimentos para soluções de melhorias no processo de validação da engenharia de sistemas de um veículo de sondagem. A abordagem do problema é qualitativa, pois é aplicada no setor espacial onde estão estabelecidos o processo e sub-processos de validação e pretende-se determinar uma interpretação do significado do processos entrevistando especialistas e buscando suas opiniões para proposta de melhorias, se necessárias, como o intuito de refinamento deste processo. Os

objetivos são características descritivas por meio da utilização do mapeamento do processo e diagrama de blocos para coleta de dados, utilizando-se de procedimentos técnicos baseados em observações, documentos e entrevistas com os participantes de modo cooperativo sobre as entradas, saídas, controles e mecanismos (SILVA; MENEZES, 2005).

O procedimento metodológico divide-se em três fases: o planejamento da pesquisa, a pesquisa de campo e a análise dos resultados. A primeira fase inicia-se com a atividade da formulação do problema propondo um método inicial de integração entre engenharia de sistemas e sistemas de gestão da qualidade.

A segunda fase é feita por meio do mapeamento do processo de validação de um veículo de sondagem, investigando “como é”, como está documentado e ouvindo sugestões dos especialistas de como deveria ser. Com a mesma abordagem acima é feita com os sub-processos. Retorna-se para a fase de planejamento para refinar e ajustar o método inicial, ou seja, a diferença entre o que está definido para o que deve ser adotado. Uma vez definido é apresentado para os participantes e especialistas a avaliação do método proposto.

A fase final compõe-se por uma análise e discussão entre o método ajustado e a literatura e finalmente, considerações e recomendações, verificando se os objetivos foram atingidos, se a(s) hipótese(s) ou os pressupostos foram confirmados ou rejeitados e, contribuição da pesquisa para o meio acadêmico e para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia.

4. O PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO VEÍCULO DE SONDAÇÃO

Os seguintes resultados foram obtidos ao aplicar a ferramenta IDEF0 no processo de validação de um veículo de sondagem. A figura 6 mostra o processo de validação de um veículo de sondagem (VSB) onde as entradas são os componentes e o plano de qualificação que valida o processo; os mecanismos são análises, ensaios realizados, inspeções e simulações; os controles são os desenhos, normas e especificações técnicas; e as saídas controladas são os relatórios técnicos e de qualificação.

A figura 7 mostra o desdobramento do processo anterior em seus sub-processos onde o sub-processo “validar estrutura” contém as mesmas entradas, saídas e controles, porém os mecanismos utilizados são somente análises, ensaios e inspeções. Para o sub-processo “validar propulsão”, as entradas e saídas são as mesmas do sub-processo anterior, mas os mecanismos são todos os considerados no processo inicial e os controles somente especificações técnicas e desenhos. Portanto, não necessariamente as mesmas entradas, saídas, controles ou mecanismos ocorrerão pra todos os sub-processos; somente os necessários para atender a suas atividades. Observa-se todos os sub-processos para “validar VSB”: “validar estrutura”, “validar propulsão”, “validar suprimento de energia”, “validar instrumentos e sequenciamento de eventos” e “validar ignição dos propulsores”.

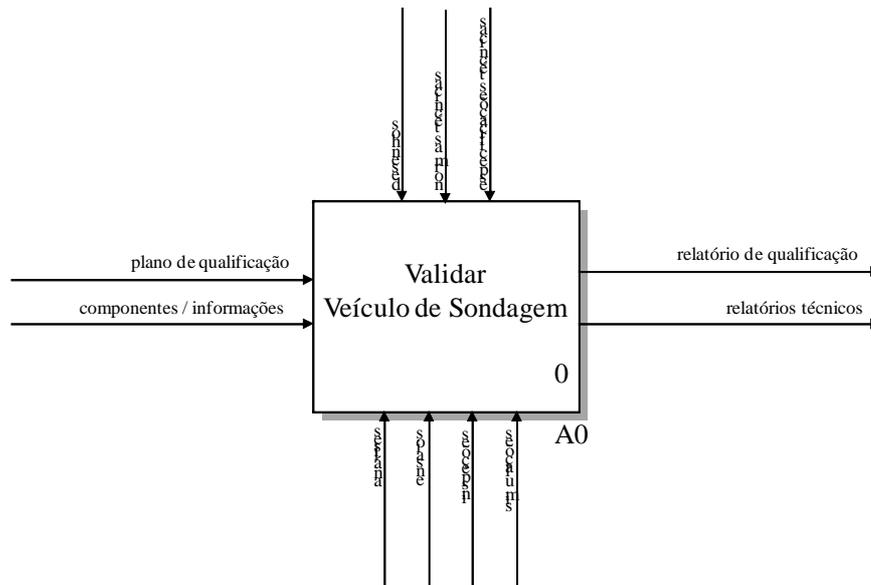


FIGURA 6 - Diagrama IDEF0 de primeiro nível (A0)

A figura 8 desdobra o sub-processo “validar estrutura” nos sub-processos “validar funções”, “validar descrições”, “validar desempenho”, “validar interfaces”, “validar operacional” e “validar projeto e fabricação”. O controle “normas técnicas” são desdobrados em regras para concepção, projeto e fabricação do foguete, condições ambientais e especificação do foguete aplicados ao sub-processo “validar interfaces”. Para o sub-processo “validar desempenho” os componentes são desdobrados em resistência estrutural e parâmetros de desempenho”.

Os blocos destacados com “sombas” das figuras 6, 7 e 8 indicam que esses processos serão desdobrados em sub-processos. Para efeito deste artigo somente alguns foram destacados, mas com certeza os outros são desdobrados dada a complexidade das atividades de um veículo de sondagem. Destaca-se também naqueles gráficos que quando um desdobramento de uma saída, entrada, mecanismo ou controle não contém indicações de texto, significa ser a mesma denominação anterior.

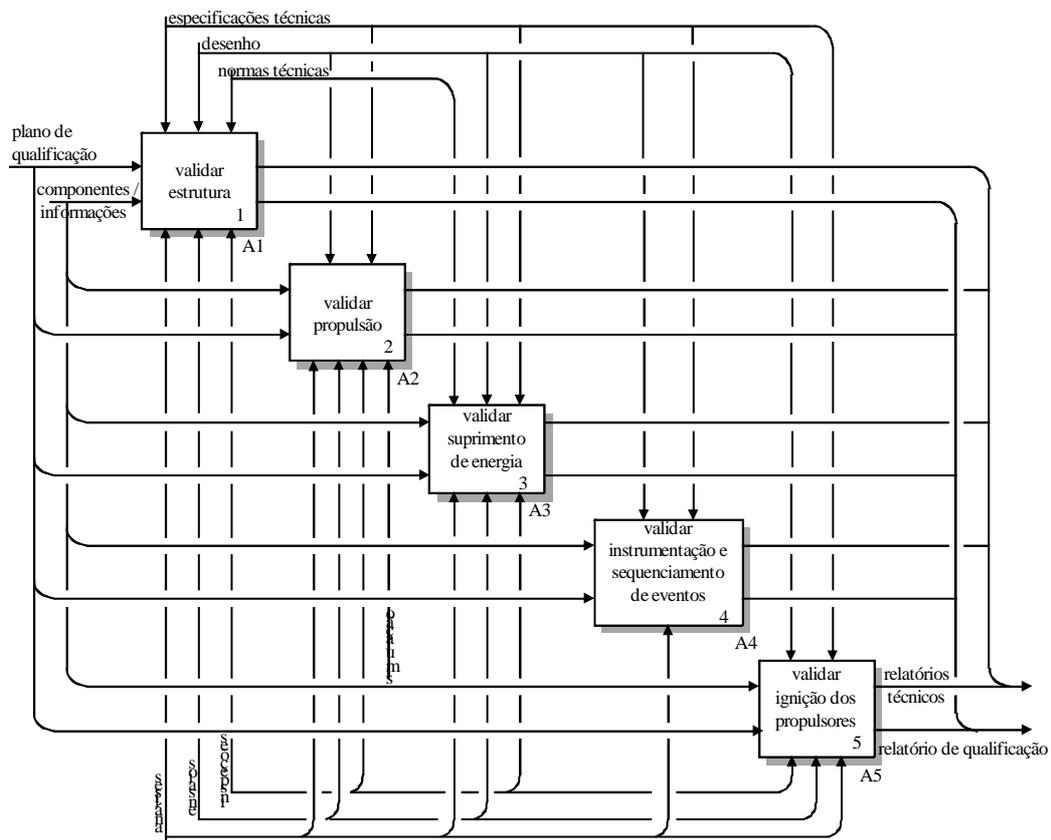


FIGURA 7 - Diagrama IDEF0 de segundo nível

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com base no método IDEF0 podem-se perceber visualmente inter-relações entre os diversos processos e sub-processos da validação do VSB durante o ciclo de vida deste processo em específico. Isto melhora a avaliação deste processo no que diz respeito à descrição textual do plano de qualificação onde as restrições determinadas para as atividades nem sempre são visualmente percebidas em atividades correlatas. Ou seja, um mecanismo pode ser aplicado em um nível macro e ao mesmo tempo ser aplicado em último nível ou em todos os níveis. Desta forma torna-se mais preciso, mais dinâmico em análise de prazos e custos, permitindo que se apliquem melhorias nas diversas funções deste produto complexo.

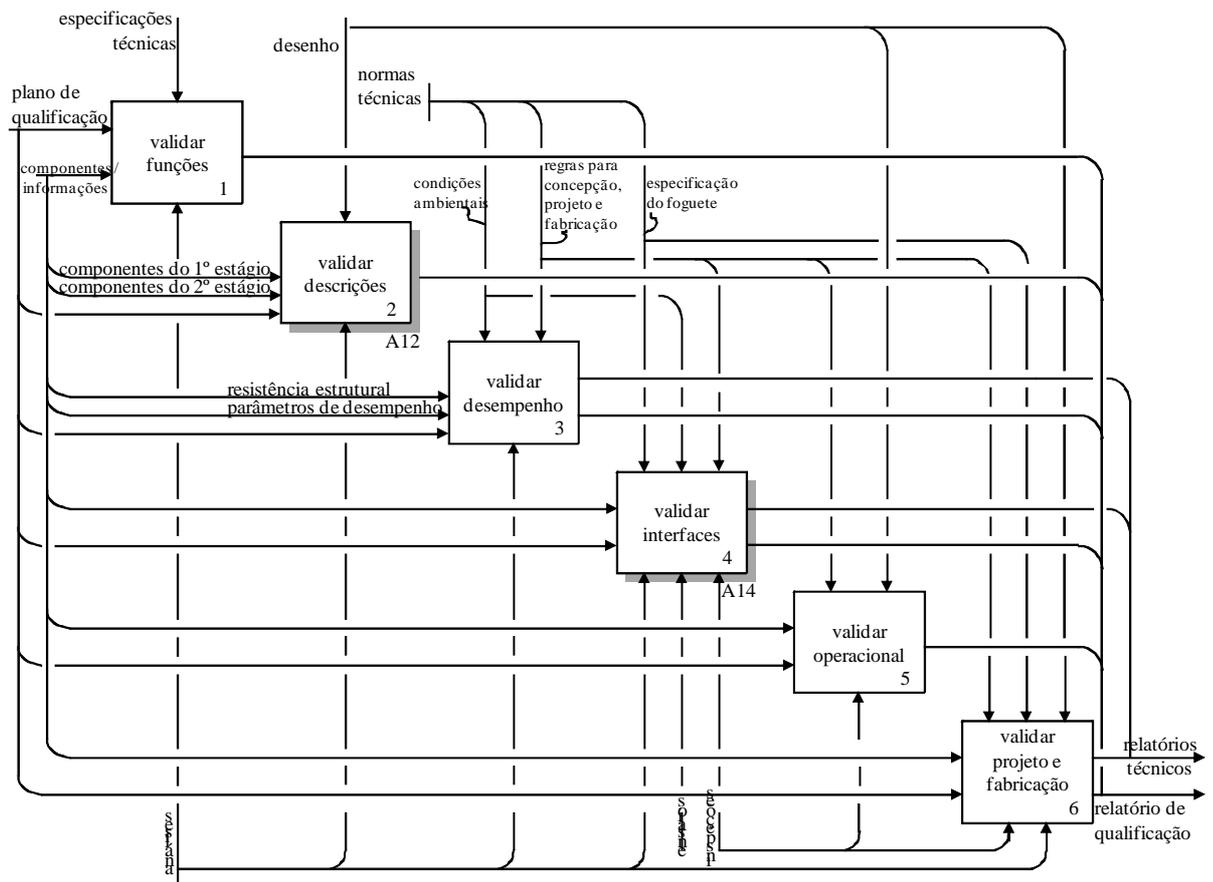


FIGURA 8 - Diagrama IDEF0 de terceiro nível

Tudo isto vai de encontro à abordagem de sistemas de Feigenbaum (1988) quando considera a combinação de fatores pessoas-máquina-informação satisfazendo o atendimento aos requisitos do cliente com qualidade de forma econômica. Esta aplicação pode ser estendida às outras áreas de processos da engenharia de sistema, tais como verificação e integração, como preconiza Bertalanffy (2008). Pode-se verificar também que dada a natureza documentada do processo atual de validação, uma melhoria baseada no balanceamento das atividades permitindo transformações em parâmetros de desempenho técnicos bem como a integração destes com outros que garantem compatibilidade de interfaces físicas, funcionais e de programas para entrega final do produto com dimensões da qualidade garantidos (confiabilidade, serviços, produtividade, etc.) durante o ciclo de vida do produto.

6. COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES

O mapeamento do processo de validação do veículo de sondagem (VSB) com a utilização da metodologia proposta permite validar o modelo que integra sistemas de gestão da qualidade e engenharia de sistemas controlando a qualidade em cada saída de cada processo durante o ciclo de vida do processo de validação indo ao encontro das considerações de Garvin (1987) sobre qualidade e todo ciclo de vida de um produto.

Recomenda-se a trabalhos futuros do modelo em outras áreas como Gestão de Projetos onde outras áreas de processos do CMMI são utilizadas para avaliar as melhorias que se deseja implementar, bem como a completa utilização da ferramenta em todas as áreas de processos da engenharia de sistemas que não foi apresentada neste artigo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9004**: Sistemas de gestão da qualidade: diretrizes para melhoria de desempenho. Rio de Janeiro, 2000.
- [2] GARVIN, D. Competing on the Eight Dimensions of Quality. **Harvard Business Review**, 1987, p. 101-109
- [3] THOMPSON, D. Systems Engineering Applied To Total Quality Management. **The Institution of Electrical Engineers**. Londres, 1999.
- [4] LOUREIRO, Geilson. **A systems engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products**. Loughborough: Loughborough University, 1999. 530 f. Thesis (Ph.D.), Department of Manufacturing Engineering.
- [5] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Integration definition for function modeling (IDEF0)**. Gaithersburg: Federal Information Processing Standards Publication, 1993. 128 p.
Disponível em: <<http://www.idef.com/pdf/idef0.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2008.
- [6] MARANHÃO, M. ; MACIEIRA, M.E.B. **O processo nosso de cada dia: modelagem de processos de trabalho**. 1. ed. Rio de Janeiro: QUALITYMARK, 2008. 250 p.
- [7] PALMÉRIO, A. F. *et al.* W. The development of the VSB-30 sounding rocket vehicle. In: ESA SYMPOSIUM ON EUROPEAN ROCKET AND BALLOON PROGRAMMES AND RELATED RESEARCH, 16., 2003, St. Gallen. **Proceedings...** St. Gallen: ESA SP-530, 2003. p. 137-140.
- [8] NIWA, M.; MUNARETTO, L. A. C. Conformity assessment in the brazilian space program: a necessary discussion. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 19., 2007, Brasília. **Proceedings...** Brasília: ABCM, 2007. P. 1-8.
- [9] CARNEGIE MELLON UNIVERSITY. **CMMI for development**. Pittsburgh, 2006. 1.2 v. 573 p. Disponível em:
<<http://www.sei.cmu.edu/publications/<documents/06.reports/06tr008.html>>. Acesso em: 27 maio 2009.
- [10] WATSON, G. H. Gurus of quality: Feigenbaum's enduring influence. **QUALITY PROGRESS**, Stillwater, v. 38, n. 11, pp. 51-55, nov. 2005. Disponível em:
<http://vnweb.hwwilsonweb.com/hww/results/esternal_link_maincontentframe.jhtml?_DARGS=/hww/results_common.jhtml.30>. Acesso em: 15 mai. 2009.
- [11] FEIGENBAUM, A. V. **Total Quality Control**. 3. ed. Singapore: McGRAW HILL INTERNATIONAL EDITIONS. 1988. 851 p.
- [12] BERTALANFFY, v. L. **Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. 3. ed. Petrópolis: VOZES, 2008. 360 p.
- [13] MASON-JONES, R.; BERRY, D.; NAIN, M. M. A systems engineering approach to manufacturing systems analysis. **Integrated Manufacturing Systems**. Birmingham. v. 9, n. 6, p. 350-365, 1998. Disponível em:
<<http://www.emeraldinsight.com/Insight/viewPDF.jsp?contentType=Article&Filename=html/Output/Published/EmeraldFullTextArticle/Pdf/0680090603.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2009.
- [14] FORTESCUE, P.W.; STARK, J.P.W.; E SWINERD G.G. **Spacecraft systems engineering**. 3. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd 2003. 678 p.
- [15] BLANCHARD, B. S. Introduction to systems engineering. In: **System engineering management**. 4. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2008. Disponível em: < http://media.wiley.com/product_data/excerpt/51/04701673/0470167351.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2009. cap. 1.
- [16] SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p.