

Proposta de Método para a estimativa da probabilidade de atendimento de Requisitos Funcionais de um produto

José Henrique de Sousa Damiani, Christan Giorgio Roberto Taranti e José Roberto de Paula
Instituto Tecnológico da Aeronáutica. ITA-CTA, Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 – 12228-900, São José dos Campos, SP

Resumo - O atendimento dos Requisitos Funcionais definidos para produtos complexos tem sido tratado pelas partes envolvidas em seu desenvolvimento, por meio de longas discussões. Este artigo propõe um método que possibilita estimar a probabilidade de atendimento dos Requisitos funcionais por meio de uma análise formal e quantitativa, possibilitando ganhos com a diminuição no tempo empregado em análises, além de favorecer decisões técnicas e administrativas. O Método proposto emprega conceitos de Confiabilidade e de Engenharia de Sistemas, definindo inicialmente as interações entre as funções identificadas por meio de Diagrama Bloco de Fluxo Funcional e, em seguida, traduzidas em Diagramas Blocos de Confiabilidade.

Palavras-chaves – Engenharia de Sistemas, Confiabilidade, Diagrama Bloco de Fluxo Funcional, Diagrama Bloco de Confiabilidade, Análise Funcional.

I. INTRODUÇÃO

O mundo moderno tem sido caracterizado pelo desenvolvimento e pela produção de itens cada vez mais complexos, onde a tecnologia se manifesta por meio de um número cada vez maior de atributos (características ou propriedades) que um produto deve possuir, a fim de satisfazer as necessidades percebidas. As características mais comuns observadas nesses itens são: tamanho, resistência, baixa sensibilidade a interferências, durabilidade, manutenibilidade, confiabilidade, precisão, robustez, dentre outras.

Qualquer produto complexo a ser desenvolvido tem como ponto de partida uma declaração inicial, que representa uma necessidade, um desejo, uma expectativa, um objetivo, capacidade ou vontade que deve ser satisfeita ou, ainda, uma real deficiência que deve ser corrigida.

Essa declaração inicial é definida como um requisito, o qual é definido neste trabalho como sendo “Uma condição ou capacidade que deve ser satisfeita ou possuída por um sistema (produto) ou componente de sistema (produto) para satisfazer um contrato, padrão, especificação ou outro documento formalmente imposto” [1].

José Henrique de Sousa Damiani, damiani@mec.ita.br, Tel +55-12-3947-3000, ramal 5966. Christian Giorgio Roberto Taranti, taranti@freeshell.org, Tel +55-12-3947-3000, ramal 4701. José Roberto de Paula, Capitão QOE COM, zerodepa@uol.com.br, Tel +55-12-3947-3000, ramal 6894.

A necessidade é manifestada ou percebida por uma parte interessada apresentada como “*Stakeholder*”, sendo aqui definida como sendo a pessoa/organização, cuja satisfação ou insatisfação é afetada pelos atributos do produto [2].

Conhecer o requisito corretamente e de forma completa é fundamental, pois a necessidade que ele representa orientará a escolha da tecnologia que será utilizada para satisfazê-lo.

Contrariamente ao bom senso, ainda se observa na prática casos onde um caminho inverso é percorrido, ou seja, primeiro se escolhe a tecnologia e depois se tenta ajustá-la à necessidade detectada [3]. Essa abordagem tem concorrido para o insucesso de muitos projetos.

A partir do momento em que uma declaração inicial é conhecida e devidamente interpretada, cabe aos desenvolvedores (projetistas, engenheiros e analistas) transformá-la em uma linguagem técnica apropriada, pois normalmente são apresentadas de forma não técnica e de difícil verificação, através das técnicas atuais de verificação [3].

A linguagem técnica é fundamental, pois é através dela que toda a cadeia produtiva interpreta corretamente a necessidade, possibilitando o desenvolvimento e a produção da solução (um equipamento, por exemplo) que realmente satisfaça à necessidade que lhe deu origem.

A partir do momento em que ocorre a tradução para uma linguagem técnica surge o chamado Requisito Técnico, o qual descreve, tecnicamente, as vontades e necessidades dos *Stakeholders* e que passa a orientar os atributos que o produto a ser desenvolvido deve possuir.

O requisito define o que o *Stakeholder* necessita, evidenciando a necessidade de se estabelecer, desde as primeiras fases do processo de desenvolvimento, o que se espera que o produto faça, com que grau de qualidade e sob quais condições [4].

Para o desenvolvimento de um produto pode ser definido diversos tipos de requisitos, a exemplo: funcional, físico, modo/estado, ambiental, performance, dentre outros. Particularmente, o requisito funcional exprime “o que” o item deve fazer [5].

Diante dessas considerações, este trabalho apresenta um método que avalia os requisitos funcionais de um produto quanto à probabilidade de seu atendimento. Este método é elaborado combinando-se ferramentas e conceitos de Confiabilidade e de Engenharia de Sistemas.

Dentro do contexto da Engenharia de Sistemas são utilizadas ferramentas de análise como o “*Functional Flow Block*

Diagram” (FFBD), o qual possibilita a Análise Funcional de um produto, por meio da visualização de como suas funções interagem entre si, nos diversos níveis de composição de sua arquitetura.

As interações das subfunções, em cada subnível funcional, visam contribuir para que a função-fim do produto satisfaça a necessidade que deu origem ao processo de desenvolvimento desse produto.

Os Diagramas de Confiabilidade são utilizados para representar as interações das funções identificadas no FFBD, em termos de probabilidade, sendo que para isso são utilizados alguns Métodos de Avaliação de Confiabilidade.

A aplicação do método proposto neste trabalho visa, *a priori*, minimizar os riscos de se desenvolver um produto que não atenda à necessidade que originou a sua produção e, também, que haja uma redução no tempo nas avaliações de requisitos funcionais do projeto, contribuindo para uma redução do custo do desenvolvimento na medida em que reduz o homem/hora gasto em acertos e discussões.

Além disto, busca-se também uma maior consistência nas análises desses requisitos, contribuindo para um melhor nível de confiabilidade do produto, além de torná-los mais robustos.

O método proposto constitui uma forma nova de se abordar o problema de atendimento de requisitos funcionais, sendo que o seu uso requer o estabelecimento de algumas hipóteses iniciais, que são descritas quando da descrição na seção V.

II. DIAGRAMA BLOCO DO FLUXO FUNCIONAL (*Functional Flow Block Diagram - FFBD*)

Para se entender a importância do uso do FFBD para este trabalho, faz-se necessário saber inicialmente em que contexto a sua utilização contribui para o processo de desenvolvimento um produto.

Como salientado na seção I, o desenvolvimento de um produto tem início com o entendimento do que se espera que ele faça, a fim de atender a uma necessidade declarada ou corrigir uma deficiência percebida. Em outras palavras, isso quer dizer definir as funções que o produto deve realizar.

Diante da necessidade de se definir um produto em termos funcionais realiza-se uma Análise Funcional, a qual deriva uma arquitetura funcional do produto analisado.

Basicamente, a Análise Funcional é definida como “um processo que deriva uma arquitetura funcional, a partir do qual atributos funcionais são identificados. Como parte do processo de Engenharia de Sistemas, a Análise Funcional traduz requisitos técnicos em uma arquitetura funcional que provê um arranjo funcional, sua decomposição e interações” [3].

Há muitas técnicas disponíveis para se realizar uma Análise Funcional e dentre elas o “*Functional Flow Block Diagram (FFBD)*”, que constitui um dos meios mais utilizados para esse fim. Estes diagramas mostram a rede de ações que conduzem ao cumprimento da função final, que foi a razão para que o produto considerado fosse desenvolvido.

De forma resumida pode-se dizer que os requisitos de um produto são analisados para, entre outros, identificar aquelas funções que devem ser realizadas para que o objetivo-fim desse produto seja realizado.

As funções são arranjadas em uma seqüência lógica para que qualquer uso operacional especificado do sistema possa ser acompanhado do início ao fim do caminho.

O FFBD descreve a seqüência temporal dos eventos funcionais, isto é, cada função (representada por um bloco) ocorre seguindo a função precedente. Algumas funções podem ser realizadas simultaneamente, ou de forma alternada.

Os Diagramas funcionais são orientados a função, não a equipamentos, disso infere-se que eles identificam “o que” a função deve realizar e não “como” [2].

Os Blocos Funcionais são elaborados em séries, de modo a representarem os diversos níveis das funções e subfunções de um produto. Eles mostram as mesmas tarefas identificadas na decomposição funcional (árvore de produto), porém de forma a representar seu relacionamento seqüencial e lógico.

As características mais comuns do FFBD estabelecem, dentre outros aspectos, que o processo de definição das funções até o nível mais baixo e os relacionamentos seqüenciais é referido como sendo uma decomposição.

A Fig. 1, abaixo, representa a forma como os níveis funcionais são definidos para um sistema/produto. O nível superior (*top-level*) representa o nível do sistema/produto, no qual se encontra a função 1.0.

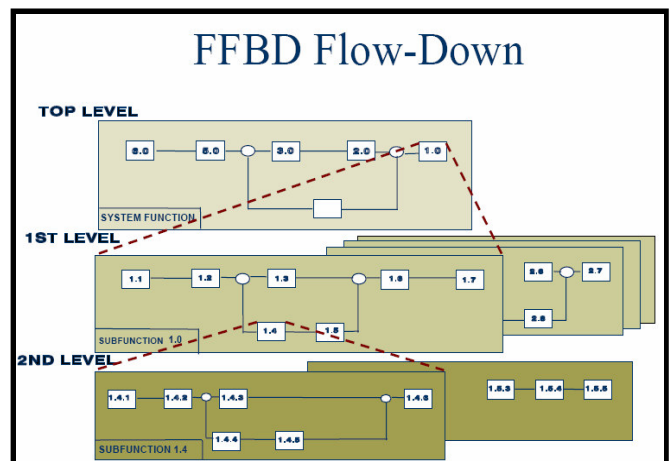


Fig. 1: Níveis de decomposição funcional.

Fonte: Ghafari (2002) [6].

A decomposição da função 1.0 estabelece o 1º nível de decomposição. A decomposição da função 1.4, a qual se encontra no 1º nível, dá origem ao 2º nível e este procedimento sucessivo segue até o nível onde a decomposição não acrescenta mais nenhum ganho ao estudo funcional. Esse desmantelamento das funções permite que se estabeleça uma rastreabilidade vertical através dos níveis.

Na Fig. 2 destacam-se as chamadas “*Summing Gates*” (portas-soma), que representam uma determinada operação que deve ser executada com as funções interligadas pelos operadores dos tipos AND e OR.

As funções interligadas por uma porta AND devem ser realizadas simultaneamente, a fim de que o fluxo de ações prossiga e as funções subseqüentes sejam executadas.

A porta OR é utilizada para indicar que caminhos alternativos podem ser adotados para que o fluxo funcional prossiga, em outras palavras, a realização de uma ou outra

função possibilita que as funções subsequentes sejam realizadas.

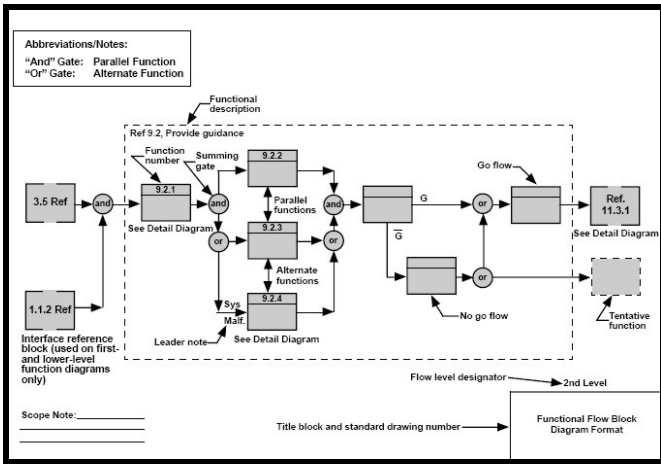


Fig. 2: Portas-soma AND (concurrency) e OR (select).
Fonte: Systems Engineering Fundamentals (2001)

III. DIAGRAMA BLOCO DE CONFIABILIDADE (Reliability Block Diagram - RBD)

Os Diagramas Blocos de Confiabilidade (RBD) constituem a forma de se representar o envolvimento de cada função/subfunção, que constitui um sistema/produto, no desempenho final de sua confiabilidade [7].

Deve-se destacar, contudo, que o RBD não representa, necessariamente, a lógica operacional ou o desmembramento funcional do produto/sistema, mas sim a seqüência em que as funções interagem para que o resultado final ocorra [8].

A montagem do RBD é determinada pela forma como as funções/subfunções do produto/sistema se inter-relacionam no FFBD. Em outras palavras, quando duas funções precisam ser executadas simultaneamente sua configuração no RBD será em série. Quando duas funções são executadas de forma seletiva, ou seja, uma ou outra, as funções no RBD são representadas em paralelo.

O RBD evolui diretamente da Análise Funcional, a qual se inicia no momento da definição das funções que o produto a ser desenvolvimento deve realizar.

Cabe salientar que os valores de confiabilidade de cada função/subfunção do RBD são aqueles definidos para cada um dos subitens que executa a referida função/subfunção do produto. Esses subitens são aqueles encontrados, após o desmantelamento do produto em sua Árvore de Produto. A Árvore de Produto será descrita em IV.

A seguir são apresentados alguns exemplos de como as funções estruturadas no FFBD são traduzidas para o RBD, sendo que as Fig.'s 3 e 4 representam dois casos bastante comuns de combinação de funções percebidas em Diagramas Funcionais.

As portas AND, representadas na Fig. 3, indicam que ambas as funções, A e B, precisam ser realizadas, simultaneamente, para que o fluxo funcional não seja quebrado e, desta forma,

possibilite que a função que vem em seguida possa ser executada.

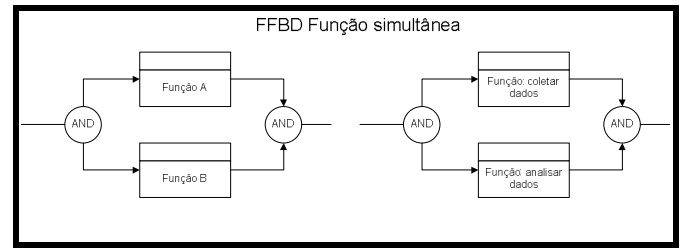


Fig. 3: Portas AND, execução das funções simultaneamente.
Fonte: Adaptado de KELAHER.[10].

As portas OR, apresentadas na Fig. 4 a seguir, representam no FFBD a condição de que as funções A ou B precisa ser realizada para que a função posterior a ela também tenha condições de ser realizada. A ocorrência de uma ou outra função possibilita o fluxo lógico prosseguir, permitindo que a função seguinte tenha condições de ser executada.

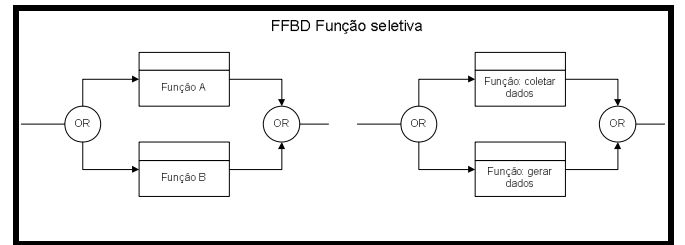


Fig. 4: Portas OR, execução de uma ou outra função.
Fonte: Adaptado de KELAHER [10].

Na Fig. 5, abaixo, verifica-se como a porta AND no FFBD é interpretada no RBD.

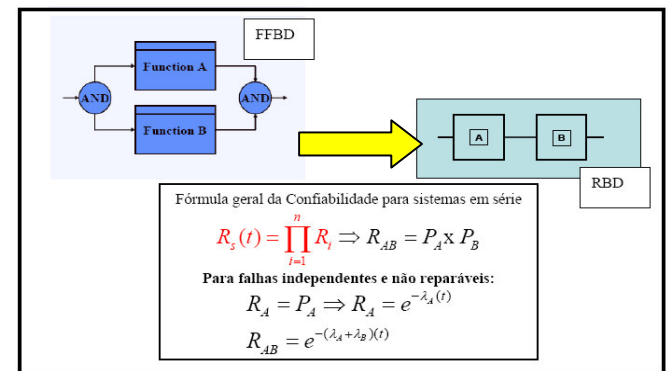


Fig. 5: Conversão de uma porta AND em diagrama série no RBD.

As duas funções interligadas por uma porta AND, no Diagrama Bloco do Fluxo Funcional, aparecem no Diagrama Bloco de Confiabilidade como dois blocos em série.

O resultado da confiabilidade total deste tipo de interdependência é obtido pela produtória de cada valor da confiabilidade parcial, conforme demonstrado no quadro inserido na Fig. 5 [9]. Leva-se em conta que há independência entre os blocos.

A característica que deve ser percebida nas funções interligadas por porta AND e traduzidas em Diagrama Bloco de Confiabilidade em série, chamado de redundância nula, é que a falha de qualquer uma delas faz com que a função a ser realizada pelo produto também falhe.

Na Fig. 6 verifica-se como a porta OR no FFBD é interpretada no RBD. Duas funções interligadas por uma porta OR, no Diagrama Bloco do Fluxo Funcional, aparecem no Diagrama Bloco de Confiabilidade como dois blocos em paralelo.

Blocos em paralelo representam a chamada redundância ativa, ou seja, o produto/sistema somente irá falhar quando o último dos itens (bloco) em paralelo vier a falhar [9].

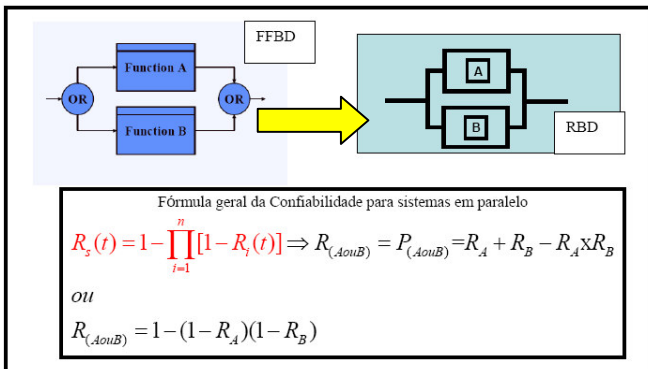


Fig. 6: Conversão de uma porta OR em diagrama paralelo no RBD.

O resultado final da confiabilidade deste tipo de interdependência é obtido pela diferença entre a confiabilidade máxima do sistema/produto, representada pelo valor um, menos a confiabilidade parcial representada pela produtória da confiabilidade dos blocos envolvidos do sistema/produto que se deseja estudar. Observe o quadro inserido na Fig. 6 acima [9].

Cabe salientar que para este trabalho definiu-se como hipótese básica o fato de que todos os subitens que formam o conjunto maior já se encontram na região de taxa de falha constante do seu ciclo de vida, ou seja, já foram devidamente testados e depurados, apresentando somente falhas aleatórias.

Além do aspecto de que os itens já se encontram na região de falhas constantes, considerou-se, ainda, que há independência entre os subitens no tocante à sua confiabilidade.

IV. ÁRVORE DE PRODUTO

A Árvore de Produto representa a forma de “relacionar todas as peças e insumos utilizados na confecção de um produto” [11]. Além disso, ela estabelece, de forma hierárquica, as relações existentes entre os seus componentes, sendo que a sua estruturação parte do produto final, o qual é decomposto em seus subconjuntos, peças, podendo chegar até a matéria-prima de onde são elaborados os seus componentes.

A análise da Árvore de Produto possibilita, ainda, que se verifique a estruturação completa de um produto, o que é fundamental para a elaboração dos roteiros de fabricação.

A árvore é montada seguindo-se uma codificação que estabelece um vínculo entre os ramos que a compõe. Esse aspecto facilita o entendimento de sua decomposição, além de dar uma idéia de sua complexidade.

A codificação utilizada na árvore também explora a semelhança das peças (pneu cód. 1220, fig. 7), o que facilita a sua construção, além de tornar o trabalho de análise mais fácil.

Na Fig. 7 abaixo é apresentado um modelo de árvore de produto de uma bicicleta.

Cada elemento da Árvore de Produto que executa uma função possui uma confiabilidade, ou seja, uma probabilidade de não falhar. Esse valor será considerado como sendo o valor da confiabilidade da função exercida pelo referido elemento, a fim de compor o Diagrama Bloco de Confiabilidade.

Os valores da confiabilidade serão buscados na literatura pertinente (a exemplo o *handbook MIL-HDBK 217F* para itens eletrônicos), ou estimados com base em estudos estatísticos.

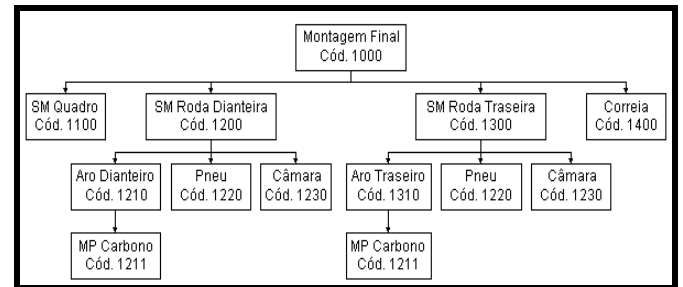


Fig. 7: Árvore de Produto de uma bicicleta.

Fonte: LOPES [11].

V. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário considerar, desde o início, algumas hipóteses que serviram de balizamento à estruturação do método. Para tanto, as hipóteses consideradas foram:

- há independência, do ponto de vista da confiabilidade, entre os Blocos Funcionais;
- um conjunto de Blocos Funcionais representam todo o relacionamento funcional entre diversos elementos da estrutura física;
- é possível associar valores de confiabilidade a cada elemento da árvore de produtos (decomposição física) e a confiabilidade de cada elemento é independente da confiabilidade dos demais.

Para a aplicação do método, parte-se de um requisito funcional já elaborado, de onde se extrai a função que o produto deve executar, a fim de atender a uma necessidade.

Na seqüência, realiza-se uma Análise Funcional, por meio de um FFBD, o qual apresenta a decomposição da função principal em subfunções até que se atinja um subnível funcional onde um único componente executa uma função/subfunção.

Conhecendo-se as subfunções e como ocorrem as interações entre elas, busca-se representar essas interações em um RBD,

de modo a se obter uma combinação lógica de blocos, a qual representa o produto em termos de confiabilidade.

A cada subfunção (ou grupo de subfunções) identificada é alocado um grau de confiabilidade, cujo valor é aquele da probabilidade de não falhar do item/subitem que executa a função/subfunção. Em outras palavras, ocorre um “empréstimo” da confiabilidade do componente para a função/subfunção que ele executa.

Através da árvore de produto do item, cada um de seus componentes é identificado e isso possibilita alocar a probabilidade de não falhar, ou seja, a confiabilidade de cada um desses componentes.

A confiabilidade é estipulada com base em orientações obtidas em literaturas específicas ou por meio de ensaios e análise estatística.

Uma vez que cada bloco funcional do RBD possui um valor de confiabilidade, pode-se calcular o valor do diagrama bloco, o qual representa o valor final da confiabilidade da função a ser executada pelo produto. A função a ser executada representa o requisito funcional.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância do perfeito entendimento dos requisitos para o desenvolvimento de um produto complexo, desde a fase conceitual, bem como a sua correta tradução em termos técnicos têm reflexos na economia de recursos e no tempo empregado nas discussões que acompanham este tipo de desenvolvimento.

No processo de desenvolvimento de um produto, definem-se os diversos tipos de requisitos que ele deverá possuir, e dentre eles os funcionais que representam “o que” o produto deve fazer. O atendimento dos requisitos faz com que o produto desenvolvido satisfaça a uma necessidade declarada ou corrija uma deficiência percebida por uma parte interessada, ou seja, um *Stakeholder*.

O que motivou a realização deste trabalho foi o fato de que, atualmente, a solução para a questão de atendimento de requisitos, invariavelmente, tem levado as partes envolvidas no desenvolvimento de um produto a consumirem energia com longas discussões, exigindo elevados h/h de trabalho de profissionais, além de não garantirem o desenvolvimento de um produto robusto e isento de falhas.

O Método proposto busca estabelecer, por meio da combinação de ferramentas de Confiabilidade e de Engenharia de Sistemas, um procedimento para se estimar a probabilidade de atendimento do requisito funcional de um produto, levando em conta a sua composição funcional.

Para a aplicação do Método, inicia-se com uma Análise Funcional, utilizando-se para isso o Diagrama Bloco do Fluxo Funcional (FFBD), que define a forma como o produto está estruturado funcionalmente, estabelecendo a seqüência lógica de como ocorrem as interações entre as funções desempenhadas por cada subitem do produto.

Após compreender como ocorrem as interações entre as funções em todos os níveis do FFBD, elas são traduzidas em Diagramas Blocos de Confiabilidade (RBD).

As traduções para RBD, efetua-se os cálculos da probabilidade final do diagrama, a qual representa a probabilidade de atendimento do requisito, empregando-se os métodos de avaliação de confiabilidade em série e/ou paralelo.

O valor da probabilidade de atendimento será analisado pelos desenvolvedores do produto (projetistas, engenheiros e analistas), orientando as ações decorrentes de seus valores, ou seja, dando prosseguimento ao processo de desenvolvimento do produto ou sugerindo modificações em sua arquitetura funcional e/ou física.

A proposta do Método também se baseou no fato de que uma estimativa antecipada da probabilidade de um requisito funcional ser atendido representa algo que deve ser buscado, visto que sua abordagem poderá ser melhorada com o tempo, vindo a se constituir em uma nova ferramenta de trabalho para aqueles que atuam no processo de desenvolvimento de produtos.

Por fim cabe considerar, ainda, o fato de que, quando não se tem uma idéia da probabilidade de atendimento de um requisito funcional, aumenta-se a chance de se desenvolver um produto ineficaz, pouco robusto, com elevada taxa de falhas e com sua confiabilidade comprometida.

REFERÊNCIAS

- [1] IEEE Std 1233a. **IEEE Guide for Developing System Requirements Specifications**. New York, USA. 1998. 36 p.
- [2] GEILSON, Loureiro. **A Systems Engineering and Concurrent Engineering Framework for the Integrated Development of Complex Products**. Loughborough University. England, 1999. Originalmente apresentada como Tese de Doutorado.
- [3] BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, Wolter J. **Systems Engineering and Analysis**. Upper Side River, NJ. Prentice Hall. 3 ed. 1998. 738 p.
- [4] DICK, Jeremy. HULL, Elizabeth. JACKSON, Ken. **Requirements Engineering**. UK. 2005. 198 p.
- [5] KERN, Vinícius Medina. **O Que São Requisitos?** Disponível em <<http://webmail.faac.unesp.br/~paula/Paula/requisitos.doc>>. Acesso em: 09 de julho de 2007, 11: 15:32.
- [6] GHAFARI, Edward. **Functional Analysis & Allocation Tools**. Apresentação em power point. Disponível em: < [http://www.hr-incose.org/se101/se_boot_camp_2002/Speaker_Presentations/DAY2%20Track%203%20-%20Tutorial%2010%20\(Ghafari\)/FAA.ppt](http://www.hr-incose.org/se101/se_boot_camp_2002/Speaker_Presentations/DAY2%20Track%203%20-%20Tutorial%2010%20(Ghafari)/FAA.ppt)>. Acesso em 19 de julho de 2007, 15:08:67.
- [7] DoD. **Systems Engineering Fundamentals**. Defense Aquisition University Press. Virginia. 2001. 222p.
- [8] AZEVEDO, Irany A. **Confiabilidade de Componentes e Sistemas**. Apostila montada para a matéria de EA-160. 2005. 182p.
- [9] O'CONNOR, Patrick D. T. **Practical Reliability Engineering**. 4 ed. New York. John Wiley & Sons, Inc. 2002. 513p.
- [10] KELAHER, Mary. **Guidance for the Preparation of an OCD, FPS and TCD**. Department of Defence Canberra ACT 2600. 2002. 78 pag.
- [11] LOPES, Marcelo de Carvalho. **Modelo Para Focalização da Produção**. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br/disserta98/lopes/cap3.html>. Acesso em: 9 de julho de 2007, 12:49:32.