



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL**

FELIPE CORREIA GONÇALVES

**UMA ABORDAGEM *MULTISTAKEHOLDER* PARA
ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS NO SETOR TERCIÁRIO**

Salvador
2018

FELIPE CORREIA GONÇALVES

**UMA ABORDAGEM *MULTISTAKEHOLDER* PARA
ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS NO SETOR TERCIÁRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial (PEI), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientadores: Marcelo Embiruçu
Isabel Sartori

Salvador
2018

Modelo de ficha catalográfica fornecido pelo Sistema Universitário de Bibliotecas da UFBA para ser confeccionada pelo autor

Gonçalves, Felipe Correia
Uma Abordagem *Multistakeholder* para Análise de Árvore de Falhas
no Setor Terciário / Felipe Correia Gonçalves. Salvador, Abril / 2018
133 f.

Orientador: Marcelo Embiruçu
Coorientador: Isabel Sartori

Dissertação (Mestrado - Engenharia Indústria) -- Universidade Federal
da Bahia, Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia, 2018.

1. Análise de Árvore de Falhas. 2. Abordagem Multistakeholder. 3. Setor Terciário.
I. Embiruçu, Marcelo. II. Sartori, Isabel. III. Universidade Federal da Bahia.
IV. Título.

UMA ABORDAGEM MULTISTAKEHOLDER PARA ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS NO SETOR TERCIÁRIO

FELIPE CORREIA GONÇALVES

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Examinada por:

Prof. Dr. José Celio Andrade 
Doutor em Administração, pela Universidade Federal da Bahia, BRASIL, 2000

Prof. Dr. Robson da Silva Magalhães 
Doutor em Engenharia Industrial, pela UFBA, Brasil, 2010.

Prof. Dr. Ângelo Marcio Oliveira Sant'Anna 
Doutor em Engenharia de Produção, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, BRASIL, 2009

Prof. Dr. Enrique Lopez Droguett _____
Doutor em Reliability Engineering, pela University of Maryland at College Park, ESTADOS UNIDOS, 1999

Salvador, BA - BRASIL
Abril/2018

Dedicatória

Ao querido avô Fernando Gonçalves (em memória).

*“Você pode tentar se tornar quem
você quiser e nunca se afastar
de quem você é.”*

(Jacob Hemphill)

Agradecimentos

A Deus pelo dom da vida e pelas pessoas e situações que Ele colocou em minha vida, me formando como pessoa e como profissional.

Ao Prof. Marcelo Embiruçu (UFBA) e à Prof^ª. Isabel Sartori (UFBA) pela atenção, dedicação, paciência e empenho desprendidos ao me orientarem e ajudarem no desenvolvimento desta dissertação e em todas as etapas do mestrado.

Ao Programa de Engenharia Industrial (PEI) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), na figura dos seus coordenadores, funcionários e professores: pela oportunidade do desafio de acesso ao mestrado, e pelo trabalho atencioso que realizam. Em especial a Tatiane Woytysiak.

Aos meus pais Luciano e Carminha, ao meu querido e leal irmão Fernando, à minha namorada e companheira de vida Carolina, e aos meus grandes amigos e familiares, sem os quais, certamente, nada disso seria possível e por serem aqueles que dividem comigo os altos e baixos da vida, dando força nas dificuldades e compartilhando as alegrias.

Agradeço a colaboração e a convivência com Carolina Amaro, Marcos Narciso e Daniel Santana.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Resumo da Dissertação apresentada ao PEI/UFBA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

Uma Abordagem *Multistakeholder* para Análise de Árvore de Falhas no Setor Terciário

Felipe Correia Gonçalves

Abril/2018

Orientadores: Marcelo Embiruçu

Isabel Sartori

Programa: Engenharia Industrial

A análise de árvore de falhas (FTA, *Fault Tree Analysis*) vem sendo amplamente utilizada desde a sua criação, principalmente no ambiente industrial (ou em aplicações de alta severidade ou alto risco, que possuem a obrigatoriedade legal de estudos de análise de risco) por proporcionar conhecimento aprofundado do sistema/equipamento e da sua confiabilidade. Apesar de sua aplicação ainda ser bastante restrita quando se trata de atividades com severidades menores, já existem estudos que recomendam a utilização desta ferramenta para outras áreas além do ambiente industrial, como, por exemplo, os processos de serviço (setor terciário). Este trabalho visa propor uma abordagem para a análise de árvores de falhas com foco em melhorar a sua aplicabilidade para o setor terciário. As principais técnicas de construção de árvores de falhas foram avaliadas e a abordagem aqui desenvolvida propõe uma construção dinâmica da FT e a ampliação da equipe multidisciplinar que participa dessa construção, baseada no conceito de *multistakeholders* (multi-agentes-chave) inserido no paradigma colaborativo da *Web 2.0*. A nova abordagem foi utilizada em um estudo de caso na Copa do Mundo FIFA de 2014 (regida pela quinta edição do documento normativo da FIFA) e apresenta potencial de diminuição de custos, ou pelo menos de sua diluição ao longo do tempo. Além disso, ela oferece também a possibilidade de se praticar enxertos de mais de uma norma reguladora do serviço na FT, bem como o acompanhamento da evolução dos documentos normativos e a identificação do cenário de tendências da entidade reguladora do serviço em questão, se constituindo em uma alternativa adicional

e um aperfeiçoamento para o método *Service Tree Analysis* (STA, análise de árvore de serviços). Além do estudo de caso supracitado, este trabalho também apresenta uma análise evolutiva dos documentos normativos dentro do mesmo contexto do estudo de caso. Ou seja, foi elaborada a análise da evolução dos requisitos técnicos da Copa do Mundo FIFA a partir da análise de árvore de falhas. Esta análise evolutiva utilizou as cinco edições existentes dos requisitos FIFA e apontou quais itens sofreram as maiores alterações, quais itens deixaram de existir e quais itens novos foram inseridos. Isto evidencia tanto a evolução ocorrida ao longo do tempo quanto oferece um cenário de tendências da entidade reguladora para as próximas edições, podendo inclusive fundamentar tomadas de decisões futuras para os gestores das arenas, visando a obtenção de um legado positivo e benéfico no pós-evento. A abordagem proposta apresenta ainda potenciais benefícios para a análise de árvore de falhas dinâmica (*Dynamic Fault Tree Analysis*, DFTA) e para análises que contemplem grande influência da confiabilidade humana.

Abstract of Dissertation presented to PEI/EP/UFBA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

A Multi-stakeholder Approach to Fault Tree Analysis in the Tertiary Sector

Felipe Correia Gonçalves

April/2018

Advisors: Marcelo Embiruçu
 Isabel Sartori

Programme: Industrial Engineering

Fault Tree Analysis (FTA) has been widely used since its inception, especially in the industrial environment (or in high severity or high risk applications, which have the legal obligation to develop risk analysis) for providing in-depth knowledge of the system/ equipment and its reliability. Although its application is still very restricted when it comes to activities with minor severity, there are already studies that recommend the use of this tool for other areas besides the industrial environment, such as service processes (tertiary sector). This work aims to propose an approach for the analysis of Fault Trees (FT) with a focus on improving their applicability to the tertiary sector. The main techniques of fault tree construction were evaluated and the approach developed here proposes a dynamic construction of FT and the expansion of the multidisciplinary team that participates in this construction, based on the concept of multi-stakeholders inserted in the collaborative paradigm of Web 2.0. The new approach was used in a case study at the 2014 FIFA World Cup (governed by the fifth edition of the FIFA normative document) and has potential for cost reduction, or at least its dilution over time. In addition, it also offers the possibility of practicing insertions of more than one regulatory standard of the service in the FT, as well as the monitoring of the evolution of the normative documents and the identification of the scenario of regulation tendencies of the service in question, being constituted in an additional alternative and an improvement to the Service Tree Analysis (STA) method. In addition to the aforementioned case study, this paper also presents an evolutionary analysis of

the normative documents within the same context of the case study. That is, the analysis of the evolution of the technical requirements of the FIFA World Cup was elaborated from the fault tree analysis. This evolutionary analysis used the five existing editions of the FIFA requirements and pointed out which items underwent major changes, which items ceased to exist and which new items were inserted. This evinces both the evolution that has occurred over time as it offers a scenario of regulatory tendencies for the next editions, and may also support future decision making for the managers of the arenas, in order to obtain a positive and beneficial legacy in the post-event. The proposed approach also presents potential benefits for the Dynamic Fault Tree Analysis (DFTA) and for analyzes that consider a great influence of human reliability.

Índice

Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tabelas.....	ix
Lista de Publicações.....	x
Capítulo I – Introdução.....	11
I.1 Contextualização.....	11
I.2 Considerações Iniciais.....	12
I.3 Organização da Dissertação.....	14
Capítulo II – Fundamentação Teórica.....	16
II.1 Falhas.....	16
II.2 Análise De Árvore De Falhas.....	17
II.3 O Paradigma Colaborativo da Web 2.0.....	33
II.4 Processos de Serviços (Setor Terciário).....	33
II.5 Multistakeholders.....	36
II.6 Conclusão.....	38
Capítulo III – Evolução dos Requisitos Técnicos da Copa do Mundo FIFA a partir da Análise de Árvores de Falhas.....	44
III.1 Introdução.....	45
III.2 Método.....	50
III.3 Resultados E Discussão.....	53
III.4 Conclusão.....	67
Capítulo IV – Desenvolvimento da Abordagem <i>Multistakeholder</i> para Análise de Árvore de Falhas no Setor Terciário.....	73
IV.1. Introdução.....	75
IV.2. Técnicas de Construção de Árvore de Falhas e Multistakeholders.....	77
IV.3. Descrição do Método Proposto.....	88
IV.4. Benefícios da Abordagem Proposta.....	91
IV.5. Aplicação e Resultados.....	96
IV.6. Conclusão.....	113
Capítulo V – Conclusão.....	128
V.1 Considerações Finais.....	128
V.2 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	130

Lista de Figuras

Figura II.1. Exemplo da estruturação de uma FTA (DeLong, 1970).	17
Figura II.2. Simbologia de uma FTA (Lafraia, 2001).	18
Figura II.3. Portas Lógicas “OU” e “E” de uma FTA (Rausand, 2004).	19
Figura II.4. Porta Lógica de Inibição (Lee et al., 1985).	19
Figura II.5. “Transferência para” e “Transferência de” identificadas pelo algarismo “1”. (Rausand, 2004).	20
Figura II.6. O Método Direto.	26
Figura II.7. Exemplo de Conversão de uma DFTA (com Porta PAND) para uma Cadeia de Markov (Rao <i>et al.</i> , 2009).	28
Figura II.8. Exemplo de Distribuição Probabilística (Lewis <i>et al.</i> , 1984).	29
Figura II.9. Visão Geral da STA (Análise da Árvore de Serviços) (Geum <i>et al.</i> , 2009).	30
Figura II.10. Modelo de Kano (Ross <i>et al.</i> , 2009).	31
Figura II.11. Participação percentual de cada setor econômico no PIB brasileiro em 2016 (IBGE, 2018).	34
Figura II.12. Participação (em %) do Setor Terciário no PIB (Brasil comparado com a Média Mundial) (Banco Mundial, 2018).	35
Figura II.13: Modelo da Saliência (Mitchell et al., 1997)	37
Figura III.1. Exemplo da estruturação de uma FTA (DeLong, 1970).	49
Figura III.2. Simbologia de uma FTA (Lafraia, 2001).	51
Figura III.3. Portas Lógicas “OR” e “E” de uma FTA (Rausand, 2004).	52
Figura III.4. “Transferência para” e “Transferência de” identificadas pelo algarismo “1” (Rausand, 2004).	53
Figura III.5. Linha do tempo – Anos de publicação dos documentos normativos da FIFA.	54
Figura III.6. FT (Documento Normativo 1ª Edição).	55
Figura III.7. FT (Documento Normativo 2ª Edição).	56
Figura III.8. FT (Documento Normativo 3ª Edição).	57
Figura III.9. FT (Documento Normativo 4ª Edição).	58
Figura III.10. FT (Documento Normativo 5ª Edição).	59
Figura III.11. Ramo da FT principal (5ª Edição) para Indicação dos Pontos que Receberam os Enxertos do LEED.	64

Figura III.12. Enxerto com os Requisitos do LEED Referentes à Construção.	65
Figura III.13. Enxerto com os Requisitos do LEED Referentes à Manutenção.	66
Figura IV.1. Construção da FT do Sistema-2 Utilizando as Informações Obtidas a partir da FT do Sistema-1 que já Existia Previamente (Arcidiacono, 2003).	82
Figura IV.2. Modelo da Saliência (Mitchell et al., 1997).	84
Figura IV.3. Exemplo de Conversão de uma DFTA (com Porta PAND) para uma Cadeia de Markov (Rao <i>et al.</i> , 2009).	94
Figura IV.4. FT Teórica para Estádios de Futebol para a Copa do Mundo FIFA 2014 - 5ª Edição.	99
Figura IV.5. Exemplos de Páginas do Formulário de Registros do “RSQuaRe”.	101
Figura IV.6. Tela Apresentada ao Usuário para a Coleta de Informações Referentes ao Local e à Fonte de Informação da Ocorrência da Falha.	102
Figura IV.7. FT Colaborativa: Em Cinza Claro Eventos da FT Teórica que Foram Acionados - “Transferência para” nos Eventos Desmembrados de Forma Colaborativa.	105
Figura IV.8. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de Eventos: (a) “Falha nas Decisões Estratégicas Durante a Pré-Construção”; (b) “Falha nas Relações com a Comunidade”.	107
Figura IV.9. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de Eventos: (a) “Falha nos Requisitos de Segurança Específicos”; (b) “Falha na Segurança Estrutural”; (c) “Falha na Prevenção de Incêndios”; (d) “Não Cumprimento dos Requisitos Estabelecidos para o Atendimento ao Público no Centro Médico de Forma Objetiva e Eficaz”.	108
Figura IV.10. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de Eventos: (a) “Sinalização e Indicações de Direção nos Bilhetes Ruim”; (b) “Falha no Acesso e Saída do Público”; (c) “Falha no Estacionamento para Espectadores”; (d) “Falha na Orientação aos Torcedores”.	109
Figura IV.11. FT Colaborativa - “Transferência de” do Evento “Não Cumprimento dos Padrões Gerais de Conforto” e seu Desmembramento.	111

- Figura IV.12. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de 112
Eventos: (a) “Falha no Escritório de Credenciamento”; (b) “Falha no Centro de Mídia do Estádio”; (c) “Falha nas Tribunas de Mídia ou Posição dos Comentaristas”; (d) “Falha no Complexo de Transmissão”.
- Figura IV.13. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de 124
Eventos: (a) “Não Cumprimento das Dimensões Recomendadas”; (b) “Não Cumprimento das Recomendações Referentes à Qualidade do Campo”; (c) “Falha no Banco de Reservas”; (d) “Falha na Exclusão dos Espectadores do Campo”.
- Figura IV.14. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de 125
Eventos: (a) “Falha no Acesso aos Vestiários”; (b) “Falha dos Vestiários, Toaletes e Áreas de Banho”; (c) “Falha na Comunicação com o Público”; (d) “Falha com os Espectadores com Necessidades Especiais”.
- Figura IV.15. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de 126
Eventos: (a) “Falha nos Estandes de Vendas de Mercadorias”; (b) “Falha com os Ingressos ou Controle Eletrônico de Acesso”.
- Figura IV.16. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de 127
Eventos: (a) “Falha na Alimentação (Fornecimento) de Energia”; (b) “Falha nos Requisitos de Instalações Elétricas”.

Lista de Tabelas

Tabela II.1. Portas Dinâmicas [adaptado de IEC (2006)]	28
Tabela III.1. Comparação das FT da 1ª a 5ª Edições	60
Tabela IV.1. Portas Dinâmicas [adaptado de IEC (2006)]	94
Tabela IV.2. Opções de Registro do Formulário e a sua respectiva Quantidade	104
Tabela IV.3. Formulário de Registros	123

Lista de Publicações

- Gonçalves, F. C.; Narciso, M. V. A.; Sartori, I.; Embirucu, M. Evolução dos Requisitos Técnicos para Estádios da Copa do Mundo FIFA de Futebol a partir da Análise de Árvore de Falhas. ENEGEP 2015, Fortaleza. Anais ENEGEP / Proceedings ICIEOM, 2015.
- Gonçalves, F. C.; Azeredo, C. A.; Sartori, I.; Embiruçu, M. Técnica Multi-Agente para Construção de Árvores de Falhas e sua Aplicação na Copa do Mundo FIFA 2014. In: XXXIV International Sodebras Congress, 2015, São Paulo. Revista SODEBRAS - Soluções para o Desenvolvimento do País, 2015. v. 11. p. 241-246.

Capítulo I. Introdução

Resumo: Este capítulo trata das considerações iniciais sobre a contextualização do cenário no qual foi realizado o estudo referente ao desenvolvimento de uma Abordagem *Multistakeholder* para Análise de Árvore de Falhas no Setor Terciário. Além disso, ele faz as seguintes apresentações iniciais: temas que fundamentam o trabalho e aplicação em caso prático, que serão apresentados nos próximos capítulos deste trabalho.

Palavras-chave: Análise de Árvore de Falhas; Processos de Serviços; Web 2.0; Abordagem *Multi-Stakeholders*; Inteligência Coletiva.

I.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A análise de árvore de falhas (FTA: *Fault Tree Analysis* ou *Failure Tree Analysis*) é uma ferramenta muito importante para a análise de riscos e o gerenciamento da confiabilidade, sendo fortemente aplicada em projetos, montagens, operação e manutenção de plantas industriais, suprimento, logística, entre outros. Sua aplicação abrange tanto os eventos de falha já ocorridos (para investigação sobre o que ocorreu e levantamento de “lições aprendidas”) quanto a previsão da probabilidade de ocorrência de falha futura (para fundamentação de tomadas de decisão e construção de alternativas de melhorias para o sistema/equipamento/serviço).

É predominante a utilização da FTA nos casos de alta severidade ou alto risco em que a legislação obriga a realização de estudos de análise de risco, tendo sido fortemente aplicada no ambiente industrial desde a sua criação. Entretanto, provavelmente justificado pelo custo associado à sua utilização, bem como pelo fato de ser uma atividade que consome tempo, a aplicação da FTA ainda é bastante restrita quando se trata de atividades com severidades menores. Já existem, porém, alguns estudos que indicam e recomendam a utilização desta ferramenta para o setor terciário. Este tipo de aplicação ainda não é muito difundida e utilizada em larga escala, porém sua aplicabilidade e eficiência são potencialmente promissoras.

Dentre os autores que propõem a utilização da FTA para os processos de serviços, alguns aplicam diretamente a ferramenta [como, por exemplo, o estudo feito por Carvalho, *et al.* (2002)] com sua forma e método clássicos, o que diminui bastante a aderência desta ferramenta ao setor terciário, pelo fato de que ele possui certas particularidades quando

comparado às indústrias. Por outro lado, outros autores apresentam certas adaptações para que a FTA seja aplicada nos processos de serviços como, por exemplo, Geum *et al.* (2009) que, inclusive, passaram a denominar o novo método de STA (*Service Tree Analysis* - Análise de Árvores de Serviços). Destaca-se, porém, que apesar de propor certas alterações para o método clássico de FTA, Geum, *et al.* (2009) não indicam nenhuma mudança na técnica de construção de uma STA, mantendo o método mais difundido para construção de uma FTA, a Análise Dedutiva.

A área de serviços possui uma particularidade que a diferencia muito da indústria, que é o fato de que na primeira a quantidade de clientes diretos é muito maior do que na segunda, além do fato que, em geral, os clientes da primeira são em sua maioria pessoas físicas, enquanto na indústria eles são pessoas jurídicas. Assim, é mais fácil e natural que exista uma relação mais estreita, às vezes até personalizada na forma, por exemplo, de assistência técnica, entre a equipe de gestão da indústria e seus clientes, que muitas vezes são explicitamente tratados pela indústria como parte de seus *stakeholders* (partes interessadas ou agentes-chave).

I.2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

I.2.1 A Abordagem Proposta

Considerando as possíveis situações em que os clientes da indústria participam da construção de suas FTA, para que esta ferramenta possa ser estendida ao setor terciário é necessário que haja o desenvolvimento de uma técnica de construção de FTA que utilize a participação da sociedade consumidora do serviço a ser analisado. Nessa situação se justifica a utilização do conceito de *multi-stakeholders* (multi agentes-chave).

No contexto atual, com o avanço do conceito da Web 2.0, proposto por O'Reilly (2005), é possível perceber um aumento na quantidade de *softwares* (códigos computacionais) e aplicativos disponíveis que aproveitam a colaboração do usuário para se tornarem melhores à medida em que são utilizados, através daquilo que o autor nomeia de “inteligência coletiva”. Paralelo a isso existe também uma evolução nas tecnologias de *hardwares* (equipamentos de informática), *softwares* e de transmissão de dados, proporcionando cada vez mais o acesso à *Internet* (rede mundial de computadores) através de dispositivos portáteis como: *notebooks* (computadores portáteis), *tablets* (dispositivo pessoal em formato de prancheta), *smartphones* (celulares “inteligentes”), entre outros.

Este cenário dinamiza bastante a troca de informações entre usuários, de forma que é cada vez mais comum ver pessoas compartilharem suas opiniões e experiências a respeito de produtos ou serviços. Desta maneira, a viabilidade desta extensão metodológica se dá com a participação destes colaboradores que assumem a função de agentes-chave através da utilização de um aplicativo baseado na produção cooperada, para registros das falhas por eles percebidas.

Dado que as técnicas já conhecidas para a construção de FTA apresentam um alto esforço e investimento iniciais, este trabalho visa propor uma extensão para as técnicas convencionais, propondo um método de construção de FTA que possui esforços e investimentos mais diluídos no tempo e com foco em melhorar a aplicabilidade desta ferramenta para o setor terciário (provisão de serviços). Esta nova técnica de construção se apóia na colaboração de multi-agentes-chave (*multistakeholders*).

A Abordagem Multistakeholder para Análise de Árvore de Falhas no Setor Terciário se baseia na ideia de se construir uma FTA teórica a partir do requisito vigente que regulamente o evento topo e em seguida a FTA teórica passa a ter seus eventos acionados através de ocorrências de falhas registradas por múltiplos agentes-chave, com o apoio de uma página da *Web* ou um aplicativo para *smartphones* (celulares “inteligentes”).

A nova abordagem proposta e desenvolvida apresenta, entre outros, os seguintes potenciais benefícios: a redução de custos; a possibilidade de se praticar enxertos com a utilização de mais de uma norma na elaboração de uma mesma FTA teórica, compondo assim uma árvore mais ampla (ampliando sua capacidade de ser dinâmica); o acompanhamento da evolução dos documentos normativos que regulamentam o serviço prestado, com a identificação do cenário de tendências da entidade reguladora, através da elaboração e comparação de FTA teóricas referentes a diferentes edições do mesmo documento normativo; a obtenção de uma descrição mais visual da norma que regulamenta o serviço em questão; e uma maior aproximação do cliente. Além disso, o método proposto ainda tem o potencial de trazer efeitos benéficos para a análise de árvore de falhas dinâmica (*Dynamic Fault Tree Analysis*, DFTA) e para a confiabilidade humana.

I.2.2 A Aplicação Prática

Neste trabalho o método foi aplicado em um estudo de caso prático desenvolvido para a Copa do Mundo FIFA de 2014. Além disso, a prática de enxertos também é apresentada neste trabalho, já que relacionado ao estudo de caso da Copa do Mundo FIFA 2014, no evento que

trata sobre a Sustentabilidade Ambiental, a FIFA recomenda expressamente que as arenas possuam a certificação LEED (*Leadership in Energy Efficient Design* - Liderança em Projeto Eficiente de Energia), tanto para construção quanto para operação e manutenção das arenas. Desta forma, o evento Sustentabilidade Ambiental da FTA teórica pode receber o enxerto de novas ramificações a partir da leitura e entendimento dos requisitos desta certificação LEED.

I.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos. Os capítulos são inter-relacionados entre si e seguem uma linha lógica de desenvolvimento, porém foram organizados de forma independente. Além deste capítulo introdutório, o Capítulo II aborda a fundamentação teórica para este trabalho, o capítulo III traz a evolução dos requisitos técnicos da copa do mundo FIFA a partir da análise de árvores de falhas e o capítulo IV apresenta a nova abordagem proposta para a utilização da análise de árvore de falhas no setor terciário. Por fim, o Capítulo V mostra as conclusões finais e as sugestões para trabalhos futuros.

NOTAÇÃO

Abreviaturas

DFTA	<i>Dynamic Fault Tree Analysis</i> – Análise de Árvore de Falhas Dinâmica;
FIFA	<i>Fédération Internationale de Football Association</i> - Federação Internacional de Futebol;
FTA	<i>Fault Tree Analysis/ Failure Tree Analysis</i> - análise de árvore de falhas;
LEED	<i>Leadership in Energy Efficient Design</i> - liderança em projeto de energia eficiente;
STA	<i>Service Tree Analysis</i> - Análise de Árvores de Serviços.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carvalho, A., Scapin, C. Service Fault Tree Analysis: Its Use for Improving the Efficiency of Service Process. Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2002.

Geum, Y., Seol, H., Lee, S., Park, Y. Application of Fault Tree Analysis to the Service Process: Service Tree Analysis Approach, Journal of Service Management, Vol. 20,433 – 454, 2009.

O'Reilly, T. What Is Web 2.0 - Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. O'Reilly Publishing, 2005.

Capítulo II. Fundamentação Teórica

Resumo: Este capítulo aborda temas fundamentais para o entendimento do que será proposto neste trabalho. Serão introduzidos conceitos teóricos sobre: falhas; Análise de Árvore de Falhas e suas particularidades; o paradigma colaborativo da Web 2.0 e a inteligência coletiva; processos de serviços; e, *multistakeholders*.

Palavras-chave: Falhas; Análise de Árvore de Falhas; Web 2.0; Inteligência Coletiva; Processos de Serviços; *Multistakeholders*.

II.1 FALHAS

Falhas ocorrem quando um item deixa de executar a sua função. O tempo de funcionamento livre de falhas é geralmente uma variável aleatória. Muitas vezes, este período é razoavelmente longo, mas também pode ser muito curto a depender da frequência com que determinada falha se repete. Além de sua frequência relativa, as falhas são classificadas de acordo com o modo, causa, efeito e mecanismos (Birolini, 1999).

O Modo de Falha é a forma ou maneira de ocorrer a falha, ou seja, uma maneira possível pela qual um sistema pode falhar. Já a causa da falha por ser intrínseca (falha “normal” por desgaste) ou extrínseca (falha por mau uso, por exemplo). Quanto ao efeito, este retrata a consequência da falha que pode variar de “não relevante” a “catastrófica”. Por fim, o mecanismo de falha pode ser, por exemplo: químico, físico ou outro processo que resulte numa falha (Birolini, 1999). Complementando este entendimento, segundo Lafraia (2001): as circunstâncias que induzem ou ativam um mecanismo de falha são chamadas de causa da falha. Já o modo de falha é o conjunto de efeitos pelo qual uma falha é observada, de forma que fazendo uma analogia com a medicina, pode-se entender o modo de falha como o sintoma do problema ou da doença (Lafraia, 2001).

Falhas também são classificadas como súbitas ou graduais, que são repentinas e denominadas de falhas catastróficas, ou progressivas, que são parciais e denominados de falhas de degradação. Como a falha não é a única causa de um item estar abaixo do seu rendimento, o termo geral usado para definir um item abaixo do seu rendimento, desde que este estado não seja algo intencional ou planejado, é: item com erro (Birolini, 1999).

II.2 ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS

Este método foi desenvolvido por H. A. Watson dos Laboratórios Bell *Telephone* em 1961-62 (Lee *et al.*, 1985), através de um contrato da Força Aérea dos Estados Unidos para estudar o sistema de controle de lançamento de mísseis. Os primeiros artigos publicados foram apresentados em 1965 no Simpósio de Segurança patrocinado pela Universidade de Washington e a Boeing Company. Uma análise da árvore de falhas pode ser simplesmente descrita como uma técnica analítica através da qual um estado indesejado do sistema é especificado, e o sistema é então analisado no contexto do seu ambiente e operação para se encontrar todas as formas credíveis em que o evento indesejado pode ocorrer. A árvore de falhas é o modelo gráfico das várias combinações paralelas e sequenciais de falhas, e suas inter-relações lógicas que podem resultar na ocorrência do evento indesejado pré-definido (Vesely *et al.*, 1981).

II.2.1 Conceitos Iniciais e Aplicações

A Análise de Árvore de Falhas é uma ferramenta da Confiabilidade e recebe este nome devido à aparência de sua representação gráfica semelhante a uma árvore (DeLong, 1970), conforme mostra a Figura II.1. Fundamentalmente o método busca traduzir um item (sistema/ equipamento/ serviço) físico em um diagrama lógico estruturado em que certas causas especificadas (eventos básicos e eventos intermediários) levam a um evento topo pré-definido (Lee *et al.*, 1985).

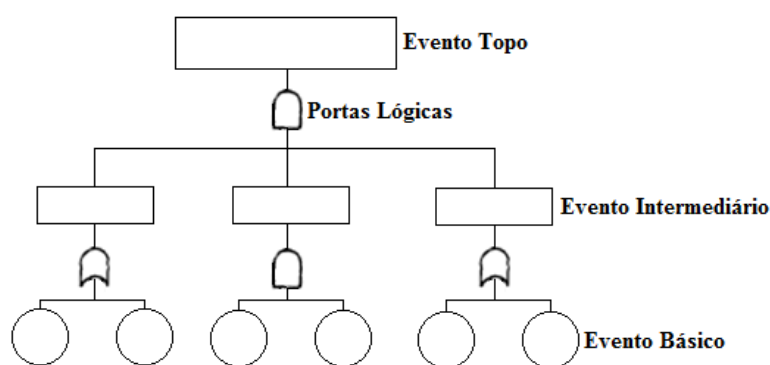


Figura II.1. Exemplo da estruturação de uma FTA.

Fonte: DeLong, 1970 (adaptado).

II.2.2 Simbologia

Para representar diferentes eventos no corpo da FTA diferentes simbologias, são usadas, conforme apresenta a Figura II.2. O evento falha é o evento topo, e representa a falha a ser estudada ou aquela que se quer evitar, já o evento básico é apresentado na base da FTA, pois representa o nível mais detalhado, e por isso não tem *inputs*. O evento não desenvolvido representa o ramo da árvore que por algum motivo não será desenvolvido naquele determinado momento, enquanto o evento normal apresenta, por exemplo, o funcionamento normal de um equipamento ou componente, mas que relacionado com outro evento pode gerar falha. Por fim, o evento condicional representa algum evento devido ou condicionado a elemento externo [Lee *et al.* (1985); Rausand (2004); Lafraia (2001); IEC 61025 (2006)].



Figura II.2. Simbologia de uma FTA.

Fonte: Lafraia, 2001.

Outra particularidade deste método são as portas lógicas que inter-relacionam causas, apontando se o evento superior a estas causas pode acontecer caso pelo menos uma delas ocorra, ou se, somente quando todas elas ocorrerem simultaneamente. Considerando um evento “A”, a porta lógica “OU” indica que o evento “A” ocorrerá se qualquer um dos eventos que sejam *inputs* de “A” ocorra. Ainda considerando o evento “A”, a porta lógica “E” indica que o evento em questão ocorrerá somente quando todos os *inputs* ocorrerem [Lee *et al.* (1985); Rausand (2004); Lafraia (2001); IEC 61025 (2006)], conforme apresentado na Figura II.3.

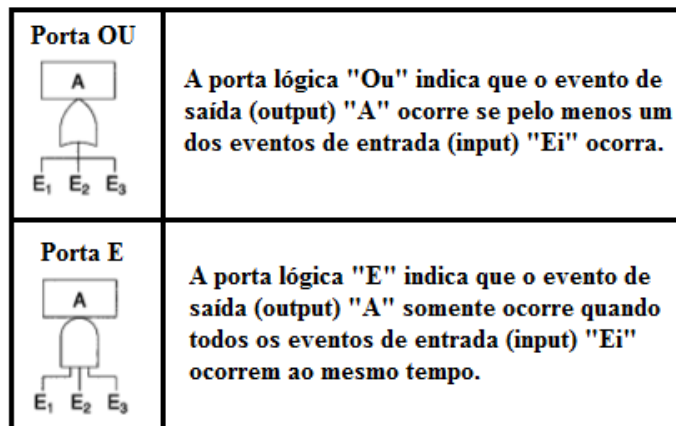


Figura II.3. Portas Lógicas “OU” e “E” de uma FTA.

Fonte: Rausand, 2004 (adaptado).

Ainda sobre a porta lógica “E”, existe uma particularidade que é denominada de Porta Lógica de Inibição. Para este tipo de porta, além da necessidade de que todos os eventos de *input* ocorram, ainda é necessário que uma condição (ou cenário) pré-estabelecida também seja verdadeira para que ocorra o evento de *output* (Evento “A”, do exemplo acima) [Lee *et al.* (1985); IEC 61025 (2006)], conforme pode ser visto na Figura II.4.

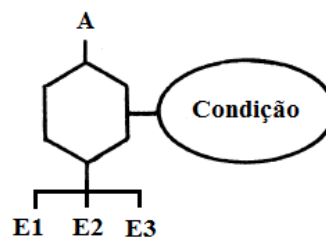


Figura II.4 Porta Lógica de Inibição.

Fonte: Lee *et al.* (1985) – Adaptado.

Já a porta lógica de “Transferência para” indica que a Árvore foi interrompida naquele ponto e que ela é desenvolvida na porta “Transferência de” correspondente em outro documento. Ou seja, a porta “Transferência de” indica que a porção da árvore abaixo dela deve ser conectada na porta “Transferência para” da Árvore Principal. Para facilitar a aplicação desta porta lógica, tanto a porta “Transferência de” quanto a porta “Transferência para” devem ser identificadas com um algarismo [Rausand (2004); IEC 61025 (2006)], conforme mostra a Figura II.5.

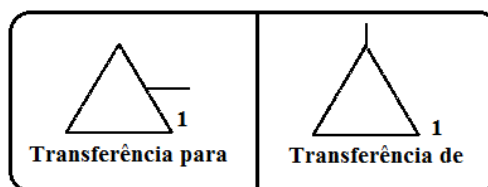


Figura II.5. “Transferência para” e “Transferência de” identificadas pelo algorismo “1”.

Fonte: Rausand (2004) (adaptado).

A FTA oferece diversos benefícios, conforme listados por Lafraia (2001): conhecimento aprofundado do item (sistema/ equipamento/ serviço) analisado; detecção de causas básicas; identificação de partes críticas; identificação de sequências de eventos mais prováveis; e fundamento para tomadas de decisão baseadas em dados quantitativos. Esta ferramenta oferece ainda uma excelente comunicação visual e possibilita interface com outras ferramentas de análise de risco como, por exemplo, o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*, análise dos modos e efeitos de falhas) e o *Bowtie* (método “gravata borboleta”).

Para a elaboração deste tipo de análise de maneira efetiva e satisfatória é preciso atentar para dois princípios iniciais de alta relevância: i) a definição direta e objetiva do evento-topo que se deseja evitar; e ii) a delimitação do volume de controle que será abrangido pela aplicação da ferramenta. A observância destes dois princípios garante que o foco e a atenção sejam direcionados para o evento topo que realmente se deseja estudar, bem como evita que o produto da análise seja uma árvore extremamente ampla e com informações subjetivas, superficiais ou distantes do propósito (IEC 61025, 2006). Após a definição do item (sistema/ equipamento/ serviço) que será representado em forma de árvore de falhas, bem como a delimitação do volume de controle e a identificação do evento topo, pode-se então desenvolver a FTA em questão.

Esta análise pode ser utilizada na fase de concepção de um sistema/ equipamento/ serviço para identificar possíveis causas de falhas futuras, pode ser utilizada na fase de operação e para analisar uma falha que já ocorreu, exibindo esquematicamente como diferentes eventos reuniram-se para causar a falha (IEC 61025, 2006).

II.2.3 Técnicas de Construção

O processo de construção e desenvolvimento de uma análise de árvore de falhas é geralmente uma atividade complexa e que consome bastante tempo e dinheiro (Lee *et al.*, 1985). A principal técnica de construção é conhecida como “Análise Dedutiva” e foi

desenvolvida por H. A. Watson em 1961-62 (Lee *et al.*, 1985). A mesma técnica de construção foi posteriormente citada e apresentada por outros autores, entre os quais: Hixenbaugh (1968), NASA (2002), da administração nacional Americana de aeronáutica e espaço (*National Aeronautics and Space Administration*, NASA), e IEC (2006), a norma internacional para FTA, IEC 61025, da comissão eletrotécnica internacional (*International Electrotechnical Commission*, IEC). Segundo Hixenbaugh (1968), o processo denominado de “Análise Dedutiva” possui seis etapas, sendo que as etapas de construção são as três primeiras:

1. Definição do evento indesejado (evento topo). Uma árvore de falhas é sempre orientada para um evento topo singular, ou seja, deve ser construída para apenas um evento indesejado. Provavelmente haverá vários eventos que possam ser considerados o evento topo, e desta forma uma árvore de falhas deve ser elaborada para cada um deles. Aconselha-se começar pela elaboração da árvore de falhas para o mais indesejado dentre os eventos topo identificados;
2. Entendimento do sistema. O objetivo desta etapa é determinar ou deduzir todas as combinações possíveis de como o sistema poderia falhar e causar o evento indesejado. Para analisar todo o sistema é necessária a formação daquilo que os diversos autores chamam de “*Fault Tree Team*” (comitê de árvore de falhas), ou seja, a formação de uma equipe. Ainda sobre esta equipe, Hixenbaugh (1968) destaca que o grupo formado deve ser “um grupo diversificado de engenheiros e especialistas de diversas disciplinas”. Nesta etapa é realizado o *brainstorming* (tempestade de ideias);
3. Construção da estrutura da árvore de falhas. A árvore de falhas é construída relacionando corretamente todas as sequências possíveis de eventos que, quando ocorrem, resultam no evento indesejado. Começando com o mais indesejável evento (topo), a árvore de falhas representa graficamente os caminhos que levam a cada evento básico (fazendo o movimento *top-down*, de cima para baixo), passando por eventos intermediários. Entre cada evento deve-se alocar corretamente a porta lógica desejada. Haasl (1965) concebeu uma estrutura que estabelece indicadores para determinar o tipo de porta lógica que deve ser usada, através da análise das entradas para as portas, a fim de se evitar a escolha de uma porta lógica errada;
4. Coleta de dados quantitativos. Deve ser determinada a probabilidade numérica de ocorrência dos eventos. Apresentam-se dois métodos para esta etapa: o primeiro método consiste da realização de testes com os pequenos componentes constituintes

do sistema/ equipamento e posterior análise estatística a respeito dos sucessos e fracassos resultantes, e somente é viável para falhas de componentes pequenos, erros humanos ou limitações humanas; no segundo método a probabilidade é calculada a partir de variáveis históricas, dados do fabricante, *benchmarking* (comparação com padrões elevados), entre outros indicadores. Este último método é indicado para equipamentos e componente com um custo de aquisição mais elevado, o que não justifica a realização de testes destrutivos;

5. Avaliação da probabilidade de ocorrência do evento escolhido no primeiro passo. É necessário determinar quais combinações de falhas são mais susceptíveis de causar o evento topo, ou seja, que caminhos de falha são dominantes. Além disso, deve-se determinar a probabilidade de ocorrência do evento topo através de cada um destes caminhos;
6. Análise da saída com auxílio de um computador, que é uma etapa constante em todo o processo. As FTA tendem a ser muito grandes, logo desenvolvê-las, construí-las e avaliá-las sem o apoio de *softwares* seria praticamente impossível.

Ainda a respeito da “Análise Dedutiva”, NASA (2002) apresenta a seguinte definição:

“A dedução constitui o raciocínio do geral para o específico. Na Análise Dedutiva, postula-se que o sistema falhou de certa maneira, então é feita uma tentativa para descobrir o que contribuiu para essa falha. Na linguagem comum esta abordagem pode ser referida como uma abordagem de "Sherlock Holmes". Holmes confronta provas e tem a tarefa de reconstruir os acontecimentos que levaram ao crime.”.

Fussell (1972, 1973) iniciou a construção automatizada das FTA através do “Modelo de Árvore Sintética” (*Synthetic Tree Model, STM*). O autor primeiramente desenvolveu um código de computador para sistemas elétricos. A ideia por trás do STM é a modelagem de uma pequena FTA para cada dispositivo (componente) do sistema/ equipamento através da coleta de informações para cada um dos componentes. Desta forma, para cada componente do sistema é gerada o que o autor chama de função de transferência de falha. Depois, as funções de transferência para os vários componentes são combinadas e editadas para formar a FTA final. Este modelo foi primeiramente desenvolvido para sistemas elétricos, porém o autor indica que a sua aplicação estende-se para a construção da árvore de falhas em outras áreas do

conhecimento. Basicamente o mesmo método é proposto por Kelly e Lees (1986a, b, c, d), a construção do que os autores chamam de *minitrees* (“mini-árvores”) para cada componente e a posterior junção destas *minitrees*. Hollo e Taylor (1976) definem o processo de construção de uma FTA como uma arte, além de uma ciência, já que se duas pessoas diferentes analisarem um sistema os resultados nunca serão os mesmos. As formas das FTA sairiam diferentes, as terminologias utilizadas para descrever falhas sairiam diferentes, e geralmente os eventos-falha incluídos nas FTA também seriam diferentes. Isto mostra a real necessidade de se ter pessoas competentes engajadas na construção das árvores, porém o tempo desses especialistas é muito caro. Há, portanto, a necessidade de desenvolvimento e utilização, ao menos em algumas etapas do processo, de técnicas que automatizem e simplifiquem a construção das FTA, tanto do ponto de vista prático, para reduzir os custos e padronizar os resultados, quanto do ponto de vista teórico, para compreender o processo de construção das árvores. A técnica apresentada por Hollo e Taylor (1976) é baseada na técnica apresentada anteriormente por Fussell (1972, 1973). O incremento que os autores trazem é a utilização de um “Diagrama de Causa-Consequência” que descreve melhor as sequências ou cadeias dos componentes que foram analisados separadamente num primeiro momento.

Outra técnica foi proposta por Powers e Tompkins (1974) que desenvolveram um método de construção de árvores de falhas automatizadas para sistemas químicos. Eles propuseram a utilização de modelos de entrada e saída para descrever as relações de causa e efeito entre as variáveis locais e os eventos de falha para cada componente de um determinado sistema/ equipamento. Esta metodologia foi a primeira a representar o volume de controle subdividido em blocos para, em seguida, relacioná-los e combiná-los para formar a FTA.

Salem *et al.* (1977) desenvolveram o CAT (*Computer Automated Tree*, árvore automatizada por computador), que é um programa de computador para modelagem de diversos sistemas através de “Tabelas de Decisão”, além de gerar uma análise de causa-efeito entre os eventos. As “Tabelas de Decisão” são utilizadas como componentes de modelagem e a árvore de falhas é construída através de uma aba de ferramentas, oferecida pelo programa, para a construção e edição de árvores de falhas de forma manual (utilizando os eventos-falha inseridos anteriormente pelo usuário para as “Tabelas de Decisão”). Por fim, os autores classificam o CAT como uma ferramenta para auxiliar o trabalho de construção da árvore de falhas, e não como substituto para o trabalho cuidadoso do analista de árvore de falhas.

Lapp e Powers (1977) apresentaram um programa denominado de “Síntese da Árvore de Falhas” (*Fault Tree Synthesis*, FTS). Este programa primeiro gera um gráfico direcionado (dígrafo, que é um conjunto de nós conectados por arestas dirigidas ou setas) para a

representação do sistema/ equipamento em análise e, em seguida, usa um algoritmo de síntese para deduzir a FTA do modelo gráfico gerado inicialmente. O dígrafo descreve as relações normais, de falha ou condicionadas que existem entre variáveis e eventos no sistema. Os nós dos dígrafos representam variáveis de processo e certos tipos de falhas. Um número (-10 a 10) é atribuído a cada seta, dependendo da direção e magnitude da relação. Andrews *et al.* (1985) criticaram o método apresentado por Lapp e Powers (1977), apontando que de fato a construção a partir de dígrafos fornece um bom passo intermediário no processo de construção da árvore de falhas, porém quando se aplica a técnica de construção sugerida por Lapp e Powers (1977) é percebido que os algoritmos de construção devem ser cuidadosamente validados antes da utilização generalizada para converter dígrafos em FTA. Para muitas aplicações a técnica de construção baseada em dígrafos fornece uma excelente ajuda para a construção da árvore de falhas, mas considera-se que os algoritmos publicados precisam de mais desenvolvimento antes de serem considerados adequados para uso. Porém, o principal problema ocorre quando é necessário modelar o fluxo em dois sentidos de informações, pois nestes casos existe uma relação bicondicional (nos dois sentidos) entre os eventos.

Camarda *et al.* (1978) propuseram um algoritmo para a construção de FTA a partir do gráfico de confiabilidade para sistemas de grande porte. Estes gráficos geralmente são muito mais fáceis de obter, porque os modos nos quais um item (sistema/ equipamento) físico pode operar são muito menores do que as formas em que ele pode falhar. O gráfico citado tem as seguintes características: i) os ramos do gráfico representam tanto componentes individuais quanto conjuntos deles, ou eventos necessários para o sucesso do sistema; ii) cada ramo pode ser unidirecional (se apenas um sentido, indicado por setas, é admitido para o fluxo de informação) ou bidirecional (caso contrário); iii) uma vez identificadas todas as formas que um componente pode operar, as falhas para cada ramo (componentes) serão todos os demais cenários que se puder identificar; iv) os nós representam conexões lógicas entre os ramos (relação entre os ramos, que posteriormente serão convertidas em portas lógicas).

De Vries (1990) propôs a AFTGM (*Automated Fault Tree Generation Methodology*, metodologia automatizada para a geração de árvore de falhas) para aplicações em sistemas elétrico-eletrônicos, que é baseada em gráficos para determinar as estruturas funcionais do sistema a partir de algoritmos topológicos. A análise é dividida em etapas: i) localização e descrição detalhada do circuito tomado como evento topo; ii) representação deste circuito em forma de gráfico; iii) modelagem de cada componente do circuito, analisando todos os possíveis modos de funcionamento e de falha; iv) definição de condições de contorno; v)

recomposição do sistema pela união gráfica dos sub-circuitos, os quais devem conter as portas lógicas em cada saída ou entrada.

Segundo De Vries (1990) a principal vantagem da ferramenta FTA é o fato de que ela exige que o analista tenha uma compreensão rigorosa do processo e da forma como ele é controlado, de maneira que os modos de falha de todos os componentes deverão ser claramente identificados e os seus efeitos sobre o sistema claramente definidos. Esta fase requer que o analista de árvore de falhas assegure uma ligação com o engenheiro de projeto a fim de obter um modelo preciso da planta. Desta forma, a utilização de códigos que automatizam a técnica, embora bastante útil, deve ser feita com cautela e o seu resultado deve ser analisado cuidadosamente. Também é considerado que a principal vantagem da aplicação da ferramenta é o conhecimento adquirido sobre o funcionamento de um sistema. Isto é parcialmente perdido em uma abordagem totalmente computadorizada e automática, o que reforça a justificativa para a adoção de um procedimento misto, utilizando automação computacional e análise e crítica humana.

II.2.4 Análises Qualitativa e Quantitativa

A análise qualitativa é uma avaliação lógica das possíveis combinações de eventos que resultem na ocorrência do evento topo. Estas combinações obtidas podem ser denominadas de cortes ou cortes mínimos. Denomina-se corte de uma árvore de falhas qualquer conjunto de eventos cuja ocorrência ou existência, simultânea ou sequenciada, implica na ocorrência do evento topo. Quando um corte for constituído pelo menor número possível de eventos cujas ocorrências simultâneas permitem observar a ocorrência do evento topo da árvore de falha, ele é denominado corte mínimo. A ordem de um corte mínimo é definida pela quantidade de eventos existentes no conjunto do corte mínimo, ou seja, pelo o número de eventos pelos quais o corte mínimo é formado. De uma forma geral, a existência de cortes mínimos de primeira ordem em uma determinada FTA pode ser um indicador de baixa confiabilidade, pois significa que existem falhas únicas capazes de causar a falha do sistema. Porém, isto nem sempre é verdadeiro, pois um corte de primeira ordem pode ser constituído por um único evento com baixíssima probabilidade de falha, o que não necessariamente compromete a confiabilidade do sistema/ equipamento/ serviço em análise [Lee *et al.* (1985); NASA (2002); Monteiro *et al.*(2004); IEC 61025 (2006)].

A análise quantitativa, por sua vez, é uma avaliação probabilística que inter-relaciona as probabilidades de falha de cada evento (básicos e intermediários) e estima a probabilidade

de ocorrência do evento topo. O Método Direto calcula a probabilidade de ocorrência do evento topo a partir do cálculo de probabilidade de ocorrência de cada corte, em um processo de combinação de funções de probabilidade de cada portão lógico da FTA, de baixo (evento básico) para cima (evento topo) (NASA, 2002). Para a aplicação do Método Direto, as probabilidades de ocorrência são inter-relacionadas utilizando a álgebra booleana, da seguinte forma: as probabilidades de ocorrência de eventos interligados por um portão “E” devem ser multiplicadas, enquanto as probabilidades de ocorrência de eventos interligados por um portão “OU” devem ser somadas e ter o seu resultado subtraído pelo seu produto (NASA, 2002). Isto indica uma analogia a um diagrama de blocos onde a porta lógica “OU” para uma FTA é análoga a um diagrama de blocos em série, enquanto que a porta lógica “E” é análoga a um diagrama de blocos em paralelo (Lafraia, 2001). O cálculo das probabilidades segundo o método direto está apresentado na Figura II.6, o que resulta nas fórmulas gerais apresentadas na Equação (II.1) para o portão “E” e na Equação (II.2) para o portão “OU”.

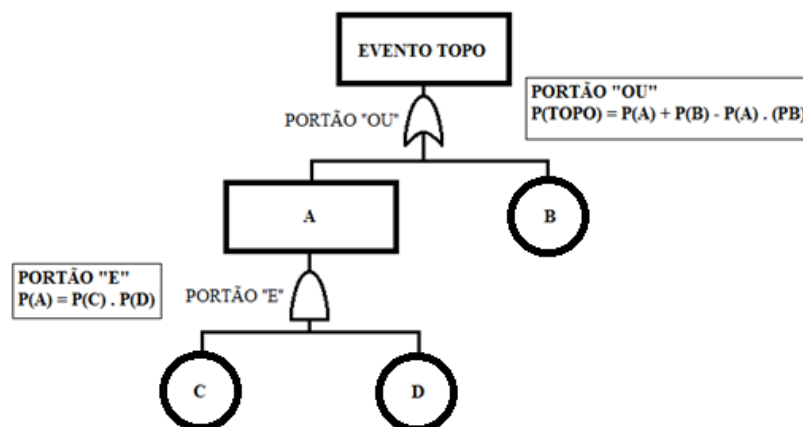


Figura II.6. O Método Direto.

Fonte: Autoria própria.

$$P = \prod_{i=1}^n P(i) \quad (\text{II.1})$$

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P(i)] \quad (\text{II.2})$$

A grande dificuldade deste método reside na necessidade de se possuir a taxa de ocorrência e duração da falha para todos os eventos (base e intermediário) e a dependência entre os eventos (álgebra booleana), pois somente assim pode-se, em seguida, determinar a

estatística ou probabilidade dos eventos (base e intermediário), e conseqüentemente a probabilidade do evento topo pode ser determinada (Lee *et al.*, 1985).

Outro método que pode ser utilizado para a análise quantitativa é o chamado “Método dos Cortes Mínimos” (Lee *et al.*, 1985). Neste método é preciso primeiramente a obtenção de todos os cortes mínimos, de forma que a probabilidade da ocorrência do evento topo é obtida a partir da representação dos cortes mínimos. Ou seja, a probabilidade de ocorrência do evento topo será igual à soma das probabilidades de ocorrência de todos os cortes mínimos existentes. Em seguida é possível identificar a importância de cada corte mínimo, através do cálculo da probabilidade de cada corte mínimo sobre a probabilidade de ocorrência do evento topo, já calculada. Desta forma é possível identificar os cortes mínimos que requerem maior atenção, por representarem pontos fracos do sistema.



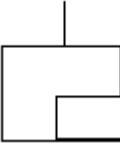
Por fim, é importante destacar a respeito da análise quantitativa que, com exceção das FTA mais simples, um pacote de *software* é necessário para lidar corretamente com os cálculos de probabilidade de ocorrência do evento topo através da álgebra booleana. Estas ferramentas de *software* ajudam a garantir consistência, exatidão e verificabilidade dos valores encontrados, uma vez que fazer o cálculo manualmente em FTA de grande porte será extremamente exaustivo, inviável e de baixíssima confiabilidade (IEC 31010, 2009).

II.2.5 Análise de Árvore de Falhas Dinâmica (DFTA)

A FTA clássica é uma ferramenta estática, de modo que todas as avaliações e conclusões resultantes desta análise retratam um momento específico. Neste contexto, a FTA clássica não deve ser utilizada quando se necessita analisar falhas em tempo real, por exemplo em mudanças de estado de plantas (Čepin e Mavko, 2001). Diversos autores, como Manian *et al.* (1998), Čepin e Mavko (2001), NASA (2002), IEC (2006), Simões Filho (2006), Rao *et al.* (2009), Chiacchio *et al.* (2011) e Manno (2012), indicam a utilização da cadeia de Markov e da simulação de Monte Carlo para a análise de árvore de falhas dinâmica (*Dynamic Fault Tree Analysis*, DFTA).

A DFTA estende a tradicional FTA, definindo portas adicionais, chamadas de “Portas Dinâmicas” (Tabela II.1), para modelar essas interações complexas. Para DFTA menores as cadeias de Markov são usadas na solução (Figura II.7). No entanto, DFTA mais robustas tornam-se demasiadamente grandes para o cálculo com modelos de Markov, quando o número de entradas e saídas das portas aumenta (Rao *et al.*, 2009). Para contornar esta dificuldade, os autores indicam a utilização da simulação de Monte Carlo.

Tabela II.1. Portas Dinâmicas [adaptado de IEC (2006)]

Nome	Descrição	Quantidade de Eventos de Entrada
Priority AND gate (PAND) 	O evento de saída (falha) ocorre apenas se todos os eventos de entrada ocorrerem em sequência, da esquerda para direita.	≥ 2
Sequential gate (SEQ) 	O evento de saída ocorre apenas se todos os eventos de entrada ocorrerem em sequência, da esquerda para a direita, e se existirem mais do que dois eventos de entrada. Esta porta é uma alternativa para o porta PAND acima.	>2
Spare gate (SPARE) 	O evento de saída vai ocorrer se o número de peças sobressalentes (em espera) for menor do que o número necessário.	≥ 1

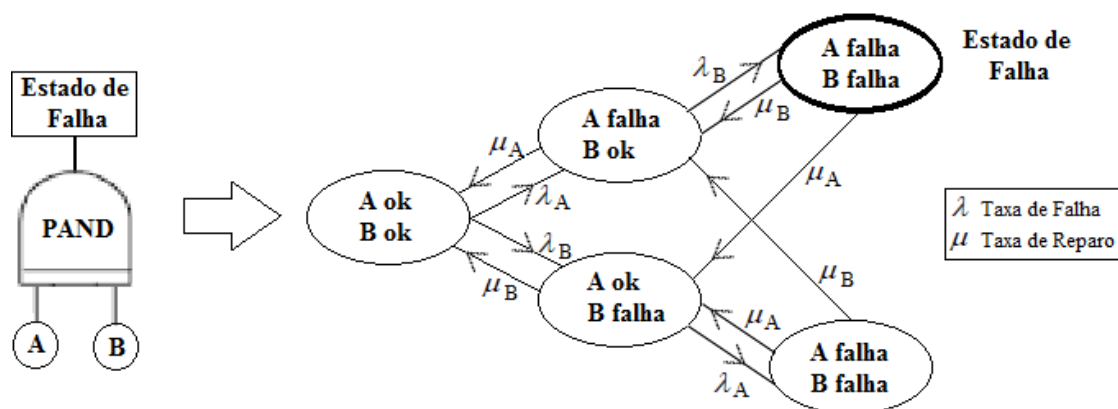


Figura II.7. Exemplo de Conversão de uma DFTA (com Porta PAND) para uma Cadeia de Markov [adaptado de Rao *et al.* (2009)].

A simulação de Monte Carlo para avaliar árvores de falhas dinâmicas é uma alternativa atraente, pois permite a modelagem não apenas de modelos determinísticos (valores fixos), mas também a consideração de uma distribuição probabilística de falhas no tempo (Manian, 1998), como o exemplo apresentado na Figura II.8. É uma análise

computadorizada que executa inúmeras combinações de simulações variadas escolhidas de forma aleatória com base nas distribuições probabilísticas inseridas (Lewis *et al.*, 1984). A principal desvantagem desta simulação são os longos tempos de simulação necessários para conseguir uma alta precisão (Manian *et al.*, 1998).

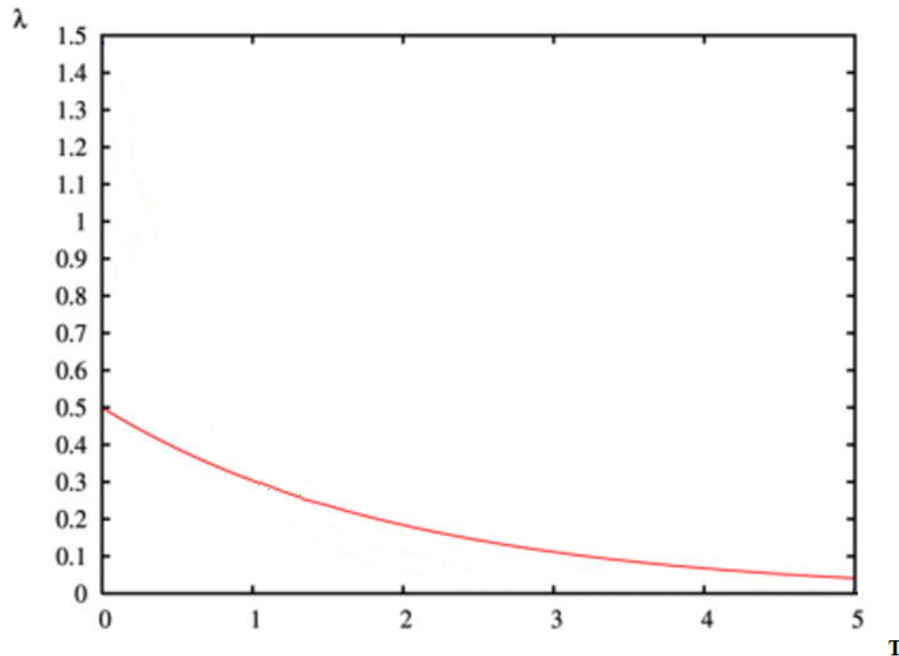


Figura II.8. Exemplo de Distribuição Probabilística [adaptado de Lewis *et al.* (1984)].

A contribuição que o método proposto neste trabalho oferece para a DFTA com ambas as técnicas (cadeias de Markov e simulações de Monte Carlo) é o fato de que com a evolução dos requisitos certos eventos são acrescentados ou excluídos da FTA teórica, fazendo com que esta análise possa passar a ser dinâmica também em outro sentido: com a adição ou remoção de termos ou parcelas que a compõem a cadeia de Markov ou a simulação de Monte Carlo, por exemplo a partir do momento que certos requisitos são criados ou excluídos das normas. Ou seja, a árvore torna-se dinâmica, ou adaptativa, não apenas em relação aos seus parâmetros, mas também em relação à sua estrutura.

Os itens que podem ser adicionados na árvore não se restringem apenas aos novos requisitos que podem ser criados pela norma principal. É possível também a realização de enxertos na FTA teórica com eventos baseados em requisitos de outras normas complementares, tornando a árvore mais completa e abrangente. E, além disso, é interessante também que o formulário de registros que é ofertado aos usuários possua uma opção aberta, não estruturada (do tipo “Outros”), para que o usuário possa registrar ocorrências que a norma

não cita, mas que aos olhos dele sejam vistas como falhas. Desta forma, pode-se enxertar também estes novos eventos indicados pelos multi-agentes.

II.2.6 Análise de Árvore de Falhas para Processos de Serviços

Alguns autores que propuseram a utilização da FTA para os processos de serviços (setor de prestação de serviços ou setor terciário) aplicaram diretamente esta ferramenta, em sua forma e método clássicos, sem nenhuma adaptação, como por exemplo Carvalho, *et al.* (2002). Porém, Geum *et al.* (2009) apresentaram algumas adaptações para que a FTA não fosse aplicada de maneira direta nos processos de serviços, aumentando assim a sua efetividade e aplicabilidade, passando inclusive a denominar o novo método de STA (*Service Tree Analysis*).

A *Service Tree Analysis* (STA) é uma ferramenta composta de quatro etapas: Construção da Árvore de Serviços; Análise Qualitativa; Análise Quantitativa; e Gestão do Processo de Serviço. A visão geral da STA está apresentada na Figura II.9.

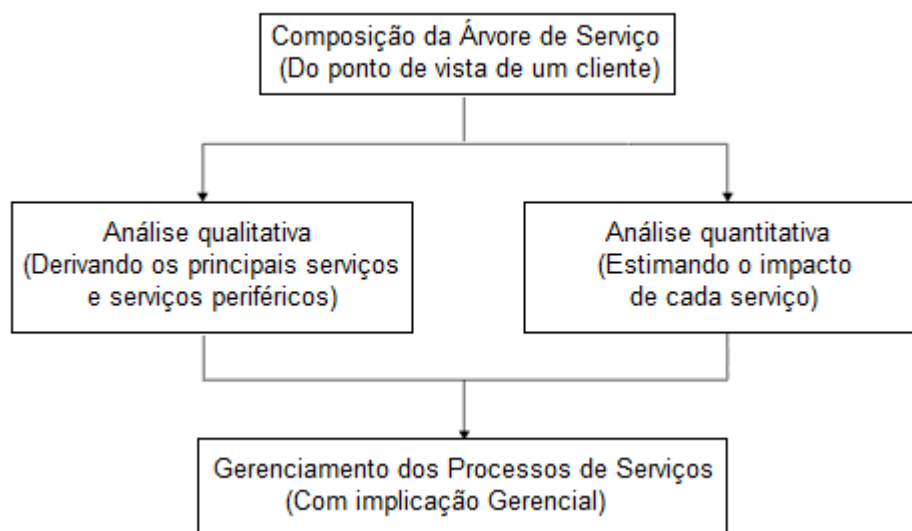


Figura II.9. Visão Geral da STA (Análise da Árvore de Serviços)

Fonte: Geum *et al.* (2009) – Adaptada.

A etapa de Construção da Árvore de Serviços é o processo de construção da árvore e segue a Análise Dedutiva apresentada por Hixenbaugh (1968), onde especialistas, com *know-how* na área em questão, formam uma equipe multidisciplinar para listar todas as combinações possíveis de causas básicas que possam levar à ocorrência do evento indesejado, através de uma *brainstorming* (tempestade de ideias). Porém, é importante destacar que a

árvore deve ser construída a partir do ponto de vista do consumidor do serviço em questão. Desta forma, a equipe multidisciplinar deve possuir clientes em sua constituição e profissionais especialistas em identificar as necessidades dos clientes.

A etapa de Análise Qualitativa segue à risca o método de análise qualitativa da FTA tradicional. Deve-se então identificar: cortes, cortes mínimos, serviços essenciais e periféricos.

Já a etapa de Análise Quantitativa recebe uma grande contribuição de Geum *et al.*, que é a divisão da análise quantitativa em duas etapas. A primeira consiste em definir um peso para cada evento de serviço (básico ou intermediário) através do coeficiente de satisfação do cliente (CS) obtido através da aplicação do modelo de Kano *et al.* (1984). Kano *et al.* (1984) sugerem que o coeficiente de satisfação do cliente pode ser identificado perguntando aos consumidores sobre sua reação/ satisfação em relação à existência e ao desempenho de certos atributos. A partir das respostas, os atributos podem ser identificados como: atrativos, obrigatórios, unidimensionais, neutros ou reversos, conforme apresenta o modelo de Kano *et al.* (1984), que pode ser visto na Figura II.10. Kano *et al.* (1984) se basearam na relação do Grau de Desempenho (eixo horizontal) com o Grau de Satisfação (eixo vertical), de forma que cada tipo de atributo é resultante da relação entre os eixos.

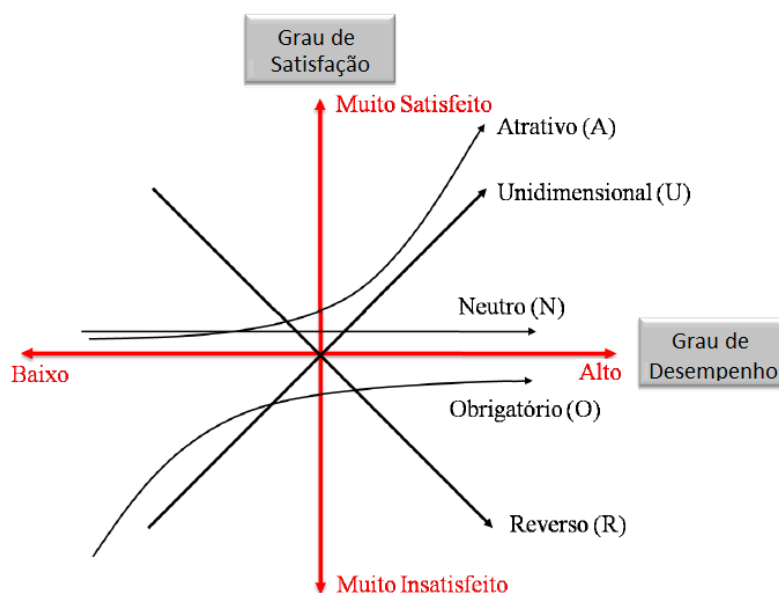


Figura II.10. Modelo de Kano *et al.* (1984).

Fonte: Ross *et al.* (2009) – Adaptado.

Já a segunda etapa consiste em realizar o cálculo da probabilidade de ocorrência do evento topo, inserindo na fórmula padrão o peso (CS) identificado através do método de Kano *et al.* (1984), conforme apresentado na Equação (II.3) para o portão “E” e na Equação (II.4) para o portão “OU”.

$$P = \prod_{i=1}^n CS . P(i) \quad (II.3)$$

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - \{CS . P(i)\}] \quad (II.4)$$

Segundo Ross *et al.* (2009), o atributo atrativo (A) é o chamado “ponto-chave” para a satisfação do cliente, se tiver alto grau de desempenho trará plena satisfação, porém não trará insatisfação se não for atendido. O atributo obrigatório (O), por sua vez, se não estiver presente ou se o grau de desempenho for baixo o cliente ficará insatisfeito. Por outro lado, se estiver presente ou tiver grau de desempenho alto, não trará necessariamente satisfação. Já para o atributo unidimensional (U), a satisfação é proporcional ao grau de desempenho, quanto maior o grau de desempenho, maior será a satisfação do cliente e *vice-versa*. Quanto ao atributo neutro (N), ele se refere aos aspectos que não são bons e nem ruins, conseqüentemente não resulta em qualquer satisfação ou insatisfação do cliente. Por fim, a respeito do atributo reverso (R), o alto grau de desempenho resulta em insatisfação, enquanto o baixo grau de desempenho resulta em satisfação. Segundo Berger *et al.* (1993), o coeficiente de satisfação do cliente (CS) associado ao Modelo de Kano *et al.* (1984) indica a porcentagem de clientes que estão satisfeitos com a existência ou suficiência de um atributo, conforme apresentado na Equação II.5.

$$CS = \frac{\%A + \%U}{\%A + \%U + \%O + \%N} \quad (II.5)$$

Por fim, a etapa de Gestão do Processo de Serviço consiste na etapa gerencial onde deve ocorrer a avaliação de todos os resultados fornecidos pela STA e a definição de estratégias e tomadas de decisão voltadas para a melhoria do processo de serviço em questão. Como resultado espera-se a oferta de um serviço mais alinhado com as necessidades dos clientes e conseqüentemente uma provável fidelização.

II.3 O PARADIGMA COLABORATIVO DA WEB 2.0

De acordo com O'Reilly (2005) “Web 2.0” é o nome dado para uma nova geração de serviços *online* (em linha). O conceito para o termo “Web 2.0” foi criado entre os anos 2003 e 2004, mas só se popularizou de fato no ano de 2005 com o artigo de O'Reilly (2005). Este conceito é caracterizado por ter a *Web* (rede mundial de computadores) como plataforma e por visar o desenvolvimento de *softwares* aplicativos que aproveitem a rede para se tornarem melhores à medida em que forem utilizados pelas pessoas, aproveitando o que o autor chama de “inteligência coletiva”. Complementando este entendimento, Primo (2007) afirma que “a Web 2.0 é a segunda geração de serviços na rede, caracterizada por ampliar as formas de produção cooperada e compartilhamento de informações *online*”. Um exemplo de serviço *online* que utiliza este paradigma contido no conceito da Web 2.0 é a “Wikipédia”, onde o usuário tem a oportunidade de editar ou adicionar informações, contribuindo com o desenvolvimento da enciclopédia através da inteligência coletiva de diversos colaboradores.

Quando a ideologia colaborativa é voltada para processos de tomada de decisão, Miles (2013) destaca a importância de se estabelecer previamente um comitê, formando assim um corpo de múltiplas partes interessadas. Ao projetar um processo de colaboração, deve-se também pré-estabelecer o grau de tomada de decisão colaborativa desejado, a quantidade de recursos que serão necessários e o período de tempo que será necessário, assim como as decisões que serão tomadas. A necessidade de incluir a participação de *multistakeholders* nos processos de tomada de decisão das organizações ocorre devido à dinâmica e à complexidade das organizações e do ambiente no qual estão inseridas, havendo a necessidade de se identificar, avaliar e gerenciar os indivíduos, grupos ou organizações que podem afetar, serem afetados ou terem a percepção de serem afetados por quaisquer decisões, atividades ou resultados de um determinado projeto. Estas entidades podem ser identificadas como *stakeholders* segundo estudos e definições propostas por Dill (1975) e Freeman (1984). Logo, a produção cooperada ocorrerá com a participação dos *multistakeholders*, que são as múltiplas partes interessadas neste processo, englobando tanto os consumidores finais quanto os indivíduos, grupos ou organizações internas e externas à empresa.

II.4 PROCESSOS DE SERVIÇOS (SETOR TERCIÁRIO)

Segundo Kon (1999) e Silva (2007) existem algumas classificações e divisões para as atividades econômicas, porém a mais difundida e aceita é a chamada Teoria dos Três Setores.

De acordo com Silva (2007), esta Teoria foi desenvolvida por Colin Clark, Jean Fourastié e Alan Fischer e divide as atividades econômicas em três macro setores: setor primário, setor secundário e setor terciário. O setor primário é o responsável pela produção de alimentos e matérias-primas, engloba a produção agrícola, a exploração dos recursos naturais (mineração caça e pesca). Já o setor secundário é caracterizado pela produção de bens de consumo, bem como a construção civil e a produção de energia. Por fim, o setor terciário é o mais amplo da economia atualmente e é composto pelas atividades comerciais e pelas prestações de serviço.

A área de prestação de serviços possui duas particularidades que a diferencia e muito dos setores primário e secundário. Uma diz respeito ao fato de que no setor terciário ocorre como se o produto adquirido pelo cliente fosse produzido e consumido simultaneamente. Outra particularidade é o fato de que para a área de serviços a quantidade de pessoas envolvidas com a criação, organização e aplicação é muito menor do que o número de clientes que consumirão tais serviços. Desta forma, a relação entre o número de pessoas que compõem a equipe de gestão e o número de clientes, é muito menor para a prestação de serviços do que para a manufatura.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) define o indicador econômico PIB (Produto Interno Bruto) como a medida do valor dos bens e serviços que um país produz na agropecuária, indústria e serviços, em determinado período de tempo (geralmente calculado anualmente). A Figura II.11 apresenta a participação percentual no PIB de cada setor da economia do Brasil no ano de 2016.

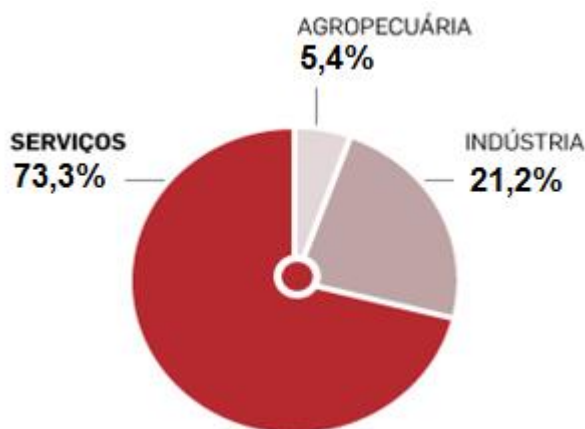


Figura II.11. Participação percentual de cada setor econômico no PIB brasileiro em 2016.

Fonte: IBGE, 2018.

É possível então perceber que o setor terciário representou uma fatia bastante considerável do PIB brasileiro no ano de 2016 (73,3%). Porém, a fim de contextualizar, é necessário observar como este percentual vem variando ao longo dos anos, ou se o ano de 2016 foi um “ponto fora da curva”. Desta forma o Bando Mundial apresenta de forma gráfica qual a participação percentual do setor terciário do Brasil nos últimos anos, e o compara com a média mundial, conforme pode ser visto na Figura II.12.

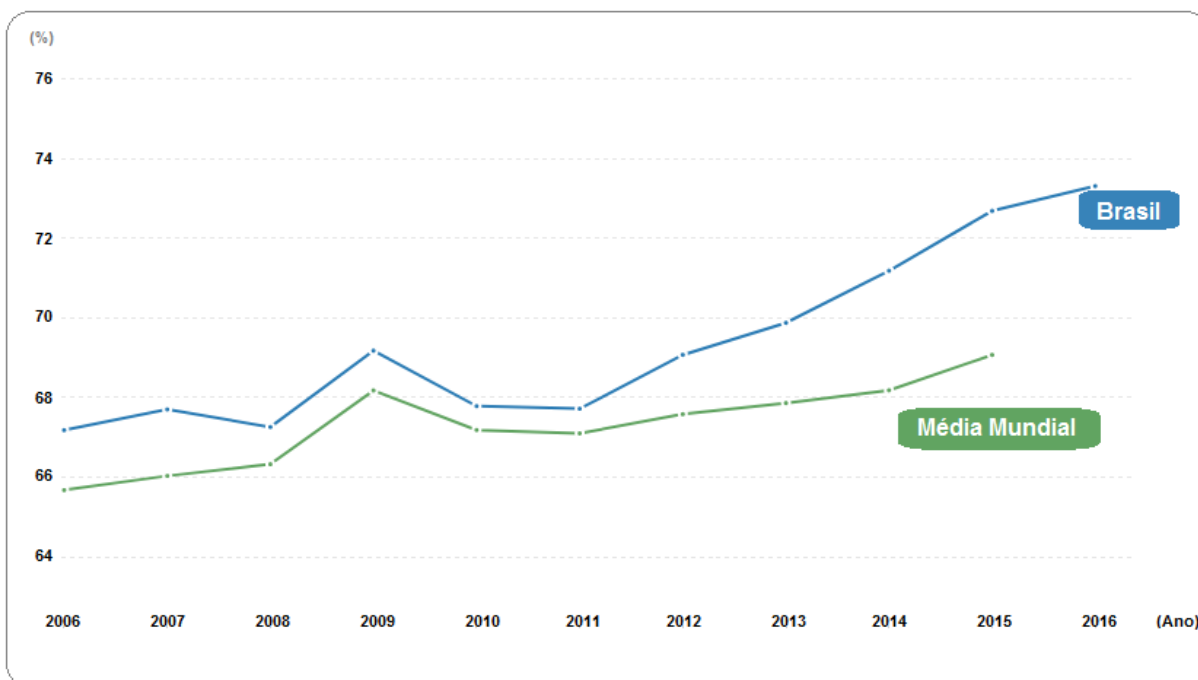


Figura II.12. Participação (em %) do Setor Terciário no PIB (Brasil comparado com a Média Mundial).

Fonte: Banco Mundial, 2018.

Assim pode-se concluir que a alta representatividade do setor terciário no PIB brasileiro é uma tendência, e que tanto para o Brasil quanto para a média mundial, mesmo com pequenas oscilações, o setor terciário sempre representou uma parcela bastante considerável do PIB desde 2006, não atingindo valores menores do que 65%. Sendo assim, a prestação de serviços é uma área de muita importância e consolidada como parte representativa e fundamental nas economias brasileira e mundial. Pois, além de responder por parcela significativa do PIB nacional e mundial, garante acesso a empregos e disponibiliza cada vez mais facilidades à população em geral. Porém, para que a atividade de serviços atenda a suas finalidades, é imprescindível que o cliente, seu destinatário final, tenha seus direitos respeitados, como consumidor que é (Roque, 2010). Portanto, as empresas prestadoras de

serviços precisam conhecer muito bem as leis e normas que regulamentam o tipo de serviço que prestam.

II.5 MULTISTAKEHOLDERS

Com a dinâmica e a complexidade das organizações e do ambiente no qual estão inseridas, houve a necessidade de se identificar, avaliar, estudar e gerenciar os atores envolvidos no processo gerencial e estratégico das organizações. Passou-se então a se referir a estes atores como *stakeholders* (partes interessadas).

O interesse pela Teoria dos *Stakeholders* se enraizou no campo da gestão estratégica e em seguida se desenvolveu para dentro da teoria da organização e da ética empresarial. A teoria permitiu misturar questões sociais e gestão e entrou em destaque apenas em meados da década de 1990, devido à atenção que recebeu em uma edição especial da *Academy of Management Review* em 1995, e ganhou força no final dos anos 90 (Laplune, 2008).

Porém, antes disso, em 1984, R. Edward Freeman lançou a obra *Strategic Management: a Stakeholder Approach* (Freeman, 1984), considerada como o marco inicial do estudo dos *stakeholders*, o que garantiu a Freeman o título de pai da teoria dos *stakeholders*. Nesse trabalho o termo *stakeholder* é definido como “qualquer grupo ou indivíduo, identificável, que possa afetar ou ser afetado pela consecução dos objetivos de uma organização” (Freeman, 1984). Porém, é importante ressaltar que, apesar de ser considerado o pioneiro nesta linha de pesquisa, os estudos de Freeman se deram a partir dos estudos e trabalhos de outros autores.

A partir do trabalho de Freeman (1984), várias pesquisas têm sido propostas a fim de estudar o papel dos *stakeholders* nas organizações, classificá-los ou identificá-los, utilizando algumas ferramentas. Primordialmente a classificação dos *stakeholders* se deu de duas formas (Clarkson, 1995). São chamados de *stakeholders* primários aqueles que possuem interesses e perspectivas sobre as organizações, e estão engajados nas ações da empresa, tais como: funcionários, acionistas, fornecedores e clientes. Já a segunda classe de *stakeholders* influencia de forma menos direta a sobrevivência da empresa, pois estes não possuem relações contratuais formais ou oficiais com a organização focal, tais como: governos, comunidade local, entre outros.

Em seguida, surgiram outras ferramentas e modelos para a identificação e classificação das partes interessadas. Por exemplo, um dos modelos mais utilizados nesse processo é o apresentado por Mitchell *et al.* (1997), sendo conhecido como Modelo de Saliência. Neste modelo os *stakeholders* são atores, internos ou externos, que afetam ou são afetados pela

organização, na medida em que estes possuem pelo menos um dos três atributos, ou a combinação de mais de um destes: poder, legitimidade e urgência. Atores que não possuem nenhum desses três atributos não são considerados *stakeholders*, não tendo, assim, nenhuma expectativa, interesse ou perspectiva sobre a organização. Com essa abordagem torna-se possível identificar se um ator é ou não um *stakeholder* no contexto ambiental da organização. Um *stakeholder* que possui os três atributos é mais “saliente” do que aquele que possui dois, que, por sua vez, é mais saliente do que aquele que possui apenas um atributo. O atributo poder refere-se à posse ou à obtenção de recursos coercitivos, recursos utilitários e/ou recursos simbólicos, para impor a vontade do *stakeholder* à organização. O atributo legitimidade é a percepção por parte do *stakeholder* de que as ações de uma entidade são desejáveis, próprias ou apropriadas dentro de um sistema de normas, valores, crenças e definições de uma sociedade. Por fim, o atributo urgência considera a sensibilidade de tempo (necessidade de velocidade na resposta da organização) e criticidade (importância do clamor ou do relacionamento da empresa com o *stakeholder* em questão).

Com os três atributos, surgem sete possíveis combinações para se classificar os *stakeholders*, como pode ser visto na Figura II.13.

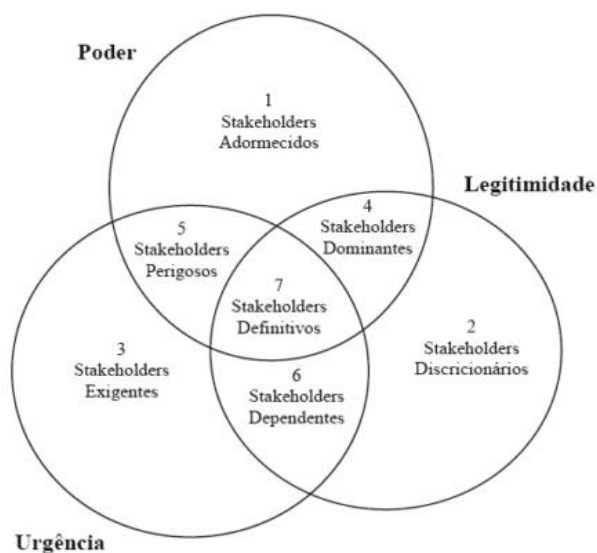


Figura II.13: Modelo da Saliência.

Fonte: Mitchell *et al.* (1997) (adaptado).

Um outro modelo de identificação e classificação de *stakeholders* é o proposto por Savage *et al.* (1991). Segundo esses autores, o objetivo desse diagnóstico é satisfazer os “*stakeholders-chave*” e, para isso, é necessário identificar quem o são. Os autores definem as

partes interessadas por seu interesse e capacidade de influenciar a organização. Portanto, Savage *et al.* (1991) classificam os *stakeholders* em quatro tipos:

1. *Stakeholder* disposto a apoiar: possui alto potencial em cooperar e baixo potencial em ameaçar;
2. *Stakeholder* marginal: não são nem tanto ameaçadores, nem tanto cooperadores;
3. *Stakeholders* indispostos a apoiar: possuem alto potencial em ameaçar, mas baixo potencial em cooperação;
4. *Stakeholder* ambíguo: têm alto potencial em ameaçar e cooperar.

Por fim, outro marco relevante nesta área do conhecimento foi a publicação da 5ª edição do guia base para o gerenciamento de projetos, o PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*), em 2013. Nesta edição o PMI (*Project Management Institute*) deu uma importância muito grande para o estudo das partes interessadas, passando a classificar o gerenciamento dos *stakeholders* como uma das áreas de conhecimento do gerenciamento de projetos (totalizando agora 10 áreas). Segundo o PMBOK (2013), o gerenciamento das partes interessadas no âmbito do gerenciamento de projetos engloba de maneira macro quatro etapas: identificar os *stakeholders*, planejar o gerenciamento de *stakeholders*, gerenciar e controlar o envolvimento dos *stakeholders* e controlar o engajamento dos *stakeholders*.

II.6 CONCLUSÃO

A Análise de Árvore de Falhas é uma ferramenta da Confiabilidade amplamente utilizada desde a sua criação, principalmente no setor industrial. Com o passar dos anos novas técnicas de construção para esta ferramenta foram desenvolvidas, bem como novas formas de se aplicar a análise quantitativa (a exemplo da Árvore de Falhas Dinâmica), além de adaptações para viabilizar a sua aplicação em outros setores, o que vem aumentando a versatilidade desta ferramenta.

Um setor que foi beneficiado com adaptações da FTA clássica para aumentar a aderência da ferramenta às suas particularidades foi o setor terciário (processos de serviços), particularmente com a criação da STA. O setor de serviços representa uma parcela significativa no PIB do Brasil e do mundo como um todo.

Outro destaque no cenário mundial é o aumento da atenção das empresas para com as partes interessadas (*stakeholders*). Estas partes interessadas estão cada vez mais participativas

e expondo suas opiniões acerca de produtos e serviços nos meios de comunicação, apoiados pelo avanço da *Internet* e dos dispositivos eletrônicos móveis (*smartphones* - celulares “inteligentes”; e *tablets* - dispositivos eletrônicos pessoais em formato de prancheta).

NOTAÇÃO

Abreviaturas

AFTGM	<i>Automated Fault Tree Generation Methodology</i> – Metodologia Automatizada para a Geração de Árvore de Falhas
CAT	<i>Computer Automated Tree</i> – Árvore Automatizada por Computador
CS	Coefficiente de Satisfação do Cliente
DFTA	<i>Dynamic Fault Tree Analysis</i> – Análise de Árvore de Falhas Dinâmica
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos
FTA	<i>Fault Tree Analysis/ Failure Tree Analysis</i> - análise de árvore de falhas
FTA	<i>Fault Tree Synthesis</i> – Síntese de Árvore de Falhas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> - Comissão Eletrotécnica Internacional
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
PIB	Produto Interno Bruto
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i> – Guia de Conhecimentos para o Gerenciamento de Projetos
PMI	<i>Project Management Institute</i> – Instituto do Gerenciamento de Projetos
STA	<i>Service Tree Analysis</i> - Análise de Árvores de Serviços
STM	<i>Synthetic Tree Model</i> – Modelo de Árvore Sintética

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrews, J. D., Morgan, J. M. Application of the Digraph Method of Fault Tree Construction to Process Plant. *Reliability Engineering*, 14, 85-106, 1985.

Banco Mundial. The World Bank. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/>>. Acesso em: 04 jan. 2018.

Berger, C. *et al.* Kano's methods for understanding customer-defined quality. *Center for Quality Management Journal*, v.2, n.4, p.33-35, 1993.

Birolini, A. *Reliability Engineering: Theory and Practice*, 3 ed., Springer, 1999.

Camarda, P., Corsi, F., Trentadue, A... An Efficient Simple Algorithm for Fault Tree Automatic Synthesis from the Reliability Graph. *IEEE Transactions on Reliability*, R-27, 215-221, 1978.

Carvalho, A., Scapin, C. Service Fault Tree Analysis: Its Use for Improving the Efficiency of Service Process. *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 2002.

Chiacchio, F., Compagno, L., D'Urso, D., Manno, G., Trapani, N.. Dynamic Fault Trees Resolution: A Conscious Trade-off between Analytical and Simulative Approaches. *Reliability Engineering & System Safety*, 96, 1515-1526, 2011.

Clarkson, M. B. E.. A stakeholder framework of analyzing and evaluating corporate social performance. *Academy of Management Review*, 20(1): 92-117, 1995.

De Vries, R. C. An Automated Methodology for Generating a Fault Tree. *IEEE Transactions on Reliability*, 39, 76-86, 1990.

Delong, T.. *A Fault Tree Manual*. Texas A&M University. 1970

Dill, W. Public participation in corporate planning: Strategic management in a Kibitzer's world. *Long Range Planning* , 8(1), 5763. 1975

Freeman, R. E. *Strategic Management: a Stakeholder Approach*. Boston: Pitman . New York: Cambridge University Press. 1984.

Fussell, J. B. A Formal Methodology for Fault Tree Construction, *Nuclear Science and Engineering*, 52, 421-432, 1973.

Fussell, J. B. *Synthetic Tree Model: A Formal Methodology for Fault Tree Construction*. Ph.D. Dissertation. Nuclear Engineering Department of Georgia Institute of Technology, 1972.

Geum, Y., Seol, H., Lee, S., Park, Y.. Application of Fault Tree Analysis to the Service Process: Service Tree Analysis Approach, *Journal of Service Management*, Vol. 20,433 – 454, 2009.

Haasl, D. F. *Advanced Concepts on Fault Tree Analysis*. System Safety Symposium, University of Washington / The Boeing Company, Seattle, Washington, jun. 8-9, 1965.

Hixenbaugh, A. *Fault Tree for Safety*. Boeing Aerospace Company Research and Engineering Division. Seattle, Washington. 1968.

Hollo, E., Taylor, J. R. Algorithms and Programs for Consequence Diagram and Fault Tree Construction. Report No. Risø-M; No. 1907, Technical University of Denmark / Danish Atomic Energy Commission, Roskilde, Denmark, 1976.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <www.ibge.gov.br> . Acesso em: 04 jan. 2018

IEC. International Electrotechnical Commission. IEC 31010 - Risk management — Risk assessment techniques, 2009.

IEC. International Electrotechnical Commission. IEC 61025 - Fault Tree Analysis, 2006.

Kano, N. *et al.* Attractive quality and must-be quality, *Hinshitsu*, v.14, n.2, p.147-56, 1984

Kelly, B. E., Lees, F. P. The Propagation of Faults in Process Plants: 1. Modelling of Fault Propagation. *Reliability Engineering*, 16, 3-38, 1986a.

Kelly, B. E., Lees, F. P. The Propagation of Faults in Process Plants: 2. Fault Tree Synthesis. *Reliability Engineering*, 16, 39-62, 1986b.

Kelly, B. E., Lees, F. P. The Propagation of Faults in Process Plants: 3. An Interactive, Computer-Based Facility. *Reliability Engineering*, 16, 63-86, 1986c.

Kelly, B. E., Lees, F. P. The Propagation of Faults in Process Plants: 4. Fault Tree Synthesis of a Pump System Changeover Sequence. *Reliability Engineering*, 16, 87-108, 1986d.

Kon, A.. Sobre as atividades de serviços: Revendo conceitos e tipologias. *Revista de Economia Política*, Vol. 19, nº 02 (74), 1999.

Lafraia, J. R. B., Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade, QualyMark, Rio de Janeiro, 2001.

Laplume, A. O., Sonpar, K., Litz, R. A.. Stakeholder Theory: Reviewing a Theory That Moves Us. *Journal of Management*, Vol. 34 No. 6, December 2008 1152-1189, 2008.

Lapp, S., Powers, G. J. Computer-Aided Synthesis of Fault-trees. *IEEE Transactions on Reliability*, R-26, 2-13, 1977.

Lee, W., Grosh, D., Tillman, F., Lie, C.. Fault Tree Analysis, Methods, and Applications - A Review. *Web of Science. IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-34, NO. 3, 194-203, 1985.

Lewis, E. E., Böhm, F. Monte Carlo Simulation of Markov Unreliability Models. *Nuclear Engineering and Design* 77, 49-62, 1984.

Manian, R., Dugan, J. B. Coppit, D., Sullivan, K.J. Combining Various Solution Techniques for Dynamic Fault Tree Analysis of Computer Systems. Department of Electrical Engineering Thornton Hall, Charlottesville, 1998.

Manno, G., Chiacchio, F., Compagno, L., D'Urso, D., Trapani, N. MatCarloRe: An Integrated FT and Monte Carlo Simulink Tool for the Reliability Assessment of Dynamic Fault Tree. *Expert Systems with Applications*, 39, 10334-10342, 2012.

Čepin, M., Mavko, B. A Dynamic Fault Tree. *Reliability Engineering & System Safety*, 75, 83-91, 2001.

Miles, J. Designing Collaborative Processes for Adaptive Management: Four Structures for Multistakeholder Collaboration. *Ecology & Society*, vol 18. NO.4, Art. 5, 51-57, 2013.

Mitchell, R. K., Agle, B. R., Wood, D. J.. Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts. *Academy of Management Journal*, 22(4): 853-886, 1997.

Monteiro, G., Fernandez, M., Contarini, M., Oliveira, L., Diniz, F.,Vieira, T., Filho, M., Galvão, C..Metodologia Para Análise de Risco / Confiabilidade da Interação entre os Sistemas de potência elétrica de automação em plataformas de produção. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP. 2004.

NASA. Fault Tree Handbook with Aerospace Applications. NASA Office of Safety and Mission Assurance NASA Headquarters. Washington, DC. 2002.

O'Reilly, T. What Is Web 2.0 - Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. O'Reilly Publishing, 2005.

PMBOK. A Guide to the Project Management Body of Knowledge – PMBOK® Guide. Project Management Institute. 5th Edition, Pennsylvania-USA, 2013.

PMI. Project Management Institute. Disponível em: < <https://brasil.pmi.org/>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

Powers, G. J., Tompkins, F. C. Fault Tree Synthesis for Chemical Process. *AICHE Journal*, 20, 376-387, 1974.

Primo, A. O aspecto relacional das interações na Web 2.0. *Revista da Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Comunicação*. 2007.

Rao, K. D., Gopika, V., Sanyasi, V.V. S., Kushwaha, H. S., Verma, A. K., Srividya, A. Dynamic Fault Tree Analysis Using Monte Carlo Simulation in Probabilistic Safety Assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, 94, 872-883, 2009.

Rausand, M. A. *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*. Wiley-Interscience, 2a ed. New Jersey, Estados Unidos da América, 2004.

Ross, C., Sartori, S., Godoy, S. Modelo de Kano para a Identificação de Atributos Capazes de Superar as Expectativas do Cliente. *Revista Produção Online*. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. ISSN 1676 – 1901, Vol. IX, Num.III, 2009.

Roque, N.. A prestação de serviços e o Código de Defesa do Consumidor: Os cuidados que devem ser tomados pelo fornecedor. *Scientia FAER*, Olímpia - SP, Ano 2, Volume 2, 1º Semestre. 2010.

Salem, S. L., Apostolakis, G. E., Okrent, D. A New Methodology for the Computer-Aided Construction of Fault Trees. *Annals of Nuclear Energy*, 4, 417-433, 1977.

Savage, G.T., Nix, T.W., Whitehead, C.J., Blair, J.D.. ‘Strategies for assessing and managing organizational stakeholders’. *Academy of Management Executive*, 5:2, 61–75, 1991.

Silva, P. P.. *A tradução da Economia*. Recife. Editora Universitária da UFPE, 2007. 318p

Simões Filho, S. *Análise de Árvore de Falhas Considerando Incertezas na Definição dos Eventos Básicos*. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

Vesely, W. E., Roberts, N. H., Haasl, D. F., Goldberg, F. F.. *Fault Tree Handbook*. Washington, D.C.: Systems and Reliability Research, Office of Nuclear Regulatory Research, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981.

Capítulo III. Evolução dos Requisitos Técnicos da Copa do Mundo FIFA a partir da Análise de Árvores de Falhas

Resumo: A Copa do Mundo FIFA é um megaevento de enorme impacto e com repercussão mundial. Desde a sua primeira edição a copa ocorre tendo a FIFA (Fédération Internationale de Football Association - Federação Internacional de Futebol) como entidade máxima responsável pela sua organização. A partir de 1994 a FIFA passou a publicar normas e requisitos técnicos para a realização deste torneio, e desde então já foram publicados cinco edições deste documento. A FTA (*Fault Tree Analysis* ou *Failure Tree Analysis*, análise de árvore de falhas), que tradicionalmente é aplicada em ambientes industriais, vem tendo a sua aplicação estendida para a prestação de serviços, e oferece, dentre inúmeros benefícios, a possibilidade da realização do acompanhamento da evolução dos documentos normativos e a identificação do cenário de tendências de entidades reguladoras. Além disso, é possível praticar enxertos na FT (*Fault Tree*, árvore de falhas), com a utilização de mais de uma norma na sua elaboração, obtendo assim uma árvore mais abrangente. Este trabalho verifica estes benefícios com a construção de uma FT para cada documento regulamentador da FIFA. Além disso, são apresentados também os procedimentos de “enxerto”, criando uma FT para cada certificação LEED (*Leadership in Energy Efficient Design*, liderança em projeto eficiente de energia) recomendada pela FIFA e enxertando-as na FT principal dos requisitos FIFA. Esta análise evolutiva das cinco edições apontou quais itens sofreram as maiores alterações, quais itens deixaram de existir e quais itens novos foram inseridos. Isto expõe tanto a evolução ocorrida ao longo do tempo quanto oferece um cenário de tendências da entidade reguladora para as próximas edições, podendo inclusive fundamentar tomadas de decisões futuras para os gestores das arenas, visando a obtenção de um legado positivo e benéfico no pós-evento. Para manter a completude deste texto, algumas partes da seção II.2.1 (do início da seção até a Figura II.5), assim como a seção II.2.3, desta dissertação são repetidas aqui (nas seções III.1.2 e III.2).

Palavras-chave: Copa do Mundo FIFA de Futebol; Requisitos Técnicos FIFA; FTA; Evolução; Certificação LEED.

III.1 INTRODUÇÃO

A Copa do Mundo FIFA de futebol masculino é um dos maiores eventos do mundo e seu alcance e mobilização são, de fato, mundiais. Este megaevento ocorre a cada quatro anos e teve a sua primeira edição no ano de 1930, tendo ocorrido desde então vinte edições com sede em diversos países. Desde a primeira edição, a FIFA (*Fédération Internationale de Football Association* - Federação Internacional de Futebol) é a entidade responsável pela organização deste campeonato, mesmo em certos momentos tendo contado com o apoio da UEFA (*Union of European Football Associations*, União das Associações Europeias de Futebol) (FIFA, 2015).

De acordo com FIFA (2015), o principal objetivo da entidade é a melhoria constante do futebol. Assim, uma das medidas tomadas pela entidade neste sentido foi a criação de um documento para estabelecer normas e requisitos para se alcançar conformidade e padrão uniforme no evento Copa do Mundo. Este documento, que contempla também a implantação e a regulamentação dos avanços tecnológicos e dos avanços no próprio futebol, é atualmente intitulado “Recomendações e Requisitos Técnicos para Estádios de Futebol” e alcançou a sua quinta edição no ano de 2011 (FIFA, 2011), e foi a norma utilizada na última copa (com sede no Brasil) para a construção e a reforma dos estádios usados na Copa do Mundo FIFA Brasil 2014.

A primeira edição deste documento foi desenvolvida em cooperação entre a FIFA e a UEFA em 1994 (FIFA, 1994). No ano seguinte, a segunda edição foi publicada também em parceria com a UEFA (FIFA, 1995). Já a terceira edição foi a última publicada pela FIFA em parceria com a UEFA, no começo dos anos 2000 (FIFA, 2000). A quarta edição foi publicada em 2007 (FIFA, 2007) e, por fim, a edição vigente atualmente é a quinta edição publicada em 2011 (FIFA, 2011).

Além de toda a adaptação e preparação que se fazem necessárias para se sediar um evento desta magnitude, o impacto no último país sede (Brasil) foi potencializado pelo fato de que não havia a cultura das arenas multiúso no país. Estas arenas trouxeram ao Brasil um novo conceito de equipamento que, além dos jogos de futebol, também é capaz de sediar outros tipos de eventos como, por exemplo: espetáculos teatrais ou musicais; eventos públicos; eventos privados; e eventos corporativos. Este conceito tende a oferecer aos usuários padrões de qualidade, conforto, comodidade e segurança muito além daqueles praticados anteriormente. Desta forma, visto que a FIFA exige normas bastante rígidas para a

implantação ou adequação deste conceito, a compreensão e aplicação destes requisitos devem ser minuciosas e detalhistas para que as falhas sejam evitadas ou atenuadas, tanto para a construção como para a manutenção e operação das arenas durante o evento e após o evento em forma de legado para o país sede.

A realização de megaeventos esportivos tem sido objeto de interesse por parte de muitos países nas últimas décadas, sobretudo em função da expectativa de obtenção de potenciais legados de longo prazo e impactos de curto prazo para as cidades-sede onde esses eventos são realizados (Roche, 2000). Assim, entender as dimensões dos potenciais legados oriundos de megaeventos esportivos é condição essencial para que seja possível mensurá-los adequadamente, sem correr o risco de negligenciá-los ou supervalorizá-los (Preuss, 2007).

Segundo Preuss (2007) e Cornelissen *et al.* (2011) existe na literatura uma falta de consenso sobre o significado de "legado", por isso a definição mais utilizada sobre este contexto vem da união dos conceitos apresentados por diversos autores, pois verifica-se que alguns autores definem determinadas dimensões sobre legados que se assemelham em alguns itens e se complementam em outros. Desta forma, de uma maneira geral os legados podem ser categorizados em 6 campos (Cashman, 2005 ; Chapelet, 2006 ; Eick, 2011 ; Molloy *et al.*, 2015): i) esportivo; ii) econômico; iii) infraestrutura; iv) informação e educação; v) vida pública, política e cultural; e vi) símbolos, memória e história.

Sobre a questão relacionada ao legado com a infraestrutura, uma condição necessária para que o legado seja positivo é o atendimento ao que Cornelissen *et al.* (2011) nomeia de “princípios de linha de base tripla”, que são: planejamento, projeto e avaliação. Dentro da parte de avaliação é condição necessária o entendimento claro e estruturado dos requisitos, indicadores e certificações relacionados com as condições requeridas e firmadas. Sobre o caso específico da Copa do Mundo FIFA de Futebol, os requisitos técnicos são aqueles apresentados no documento normativo da FIFA, como citado anteriormente. Os indicadores são de extrema importância nos contratos firmados pelo governo local para a construção, manutenção e operação das arenas na copa e no pós-copa. Segundo Cabral *et al.* (2013), o grau de envolvimento do governo continua sendo uma questão relevante neste processo. Desta forma, é preciso a realização de uma análise mais criteriosa a respeito dos contratos que são firmados, além da necessidade de haver uma severidade a respeito dos indicadores de desempenho dos contratos, estipulação de multas contratuais, definições financeiras, mecanismos de pagamento, contraprestação pública, planos para o pós-copa, entre outros, a

fim de se viabilizar um legado positivo (Cornelissen *et al.*, 2011; Eick, 2011; Molloy *et al.*, 2015). No que diz respeito às certificações, a partir da quinta edição do documento normativo da FIFA para arenas, a obtenção da certificação LEED é indicada como necessária, da seguinte forma (FIFA, 2011):

“Todos os novos estádios devem incorporar técnicas e princípios de construção e operação sustentável em seus projetos. Propõe-se que os novos estádios obtenham pelo menos a certificação LEED. Os estádios que sofrerão grandes reformas também devem obter a certificação LEED. O LEED é um sistema de certificação desenvolvido pelo *Green Building Council* (Estados Unidos), envolvendo uma avaliação independente por terceiros do desempenho ambiental do empreendimento. A avaliação é conduzida de acordo com os parâmetros adotados pelo LEED, segundo os quais é pontuada cada categoria atendida pelo empreendimento.”.

As certificações LEED constituem um sistema internacional de certificação e orientação ambiental para edificações. Estas certificações são concedidas pelo GBC (*Green Building Council*, Conselho para Construções Verdes) e é utilizada e aceita em 143 países. O intuito do GBC, através das certificações LEED, é incentivar a transformação dos projetos, obras e operações das edificações, sempre com foco na sustentabilidade de suas atuações (GBC, 2016). Segundo a FIFA (2011), a certificação baseia-se na obtenção ou não de “pontos” por parte da arena através das inspeções realizadas pela Comissão Certificadora do LEED. A distribuição dos pontos ocorre da seguinte forma: cem pontos básicos e mais seis pontos adicionais para inovações do projeto. Desta forma, pode-se obter de zero a cento e seis pontos, podendo atingir os seguintes níveis: certificação básica (40 a 49 pontos), certificação prata (50 a 59 pontos), certificação ouro (60 a 79 pontos) e certificação platina (80 ou mais pontos).

III.1.1 O Último País Sede

Megaeventos esportivos frequentemente exigem elevados investimentos para reformar e/ou construir as arenas esportivas necessárias. No caso do Brasil, último país sede, após a definição das 12 cidades-sede brasileiras em maio de 2009, mediante a formalização de compromissos políticos por parte dos Governos Estaduais, a construção de novos estádios se tornou uma demanda urgente, tendo em vista que o país não possuía arenas esportivas

compatíveis com as demandas da FIFA. Isso porque nove dos 12 estádios de futebol brasileiros escolhidos para sediar o megaevento esportivo possuíam infraestruturas antigas com idade média de utilização de aproximadamente 55 anos (Reis, 2015).

O setor público teve um papel preponderante na provisão das arenas, destacando-se o ineditismo da utilização da modalidade de Parcerias Público-Privadas (PPP) para a provisão de cinco das doze arenas esportivas, o que representa 42% das escolhas contratuais e caracteriza-se como uma nova experiência para a Administração Pública Brasileira. Diante disso, frequentemente foram necessários aportes financeiros governamentais por meio do envolvimento do Poder Público em suas diversas esferas, em níveis nacional, regional e local (Reis, 2015).

As cinco arenas regidas no formato de PPP foram as de Belo Horizonte (Minas Gerais, 2010), Fortaleza (Ceará, 2010), Recife (Pernambuco, 2010), Salvador (Bahia, 2010) e Natal (Rio Grande do Norte, 2011). Estes contratos possuem indicadores de análise de desempenho para o monitoramento e controle por parte do poder concedente. Porém, é perceptível a falta de instrumentos para detalhamento e fiscalização mais efetivos. Sendo assim, a apresentação dos requisitos em forma de FTA dá suporte para o detalhamento e para a atualização, caso seja necessária.

III.1.2 Objetivos

Um dos objetivos deste trabalho é verificar a evolução dos requisitos supracitados através de uma FTA (*Fault Tree Analysis* ou *Failure Tree Analysis*, Análise de Árvore de Falhas) com a construção de uma FT (*Fault Tree*, Árvore de Falhas) para cada edição do documento regulamentador da FIFA para a realização da Copa do Mundo de Futebol, permitindo assim uma melhor análise da evolução ocorrida entre a primeira e a última (quinta) edições. Com isso obtém-se uma visão melhor e mais objetiva dos requisitos que compõem a norma, podendo assim identificar a sua evolução (quais itens surgiram, quais itens foram extintos ou ainda quais itens se tornaram mais robustos ou severos), sendo ainda possível identificar ou estimar um possível cenário de tendências da entidade reguladora para o futuro, e servir de base para o acompanhamento dos contratos.

Outro benefício que esta técnica oferece é a possibilidade de se praticar enxertos na FT principal com a utilização de mais de uma norma na elaboração de uma mesma FT, compondo assim uma FT mais ampla, completa e abrangente. Este método resulta em uma

descrição mais visual, facilitando o entendimento dos requisitos como um todo. Além disso, ele fornece fundamentos para tomadas de decisão mais direcionadas a satisfazer as necessidades dos clientes e potencializar os legados positivos para o país sede. Assim, também é objetivo deste trabalho apresentar a prática do “enxerto” na FT através da técnica “*Comparative Fault Tree Analysis*” (Análise Comparativa de Arvore de Falhas) proposta por Arcidiacono (2003) para adição de “*new branches*” (novos ramos), criando um novo ramo para cada certificação LEED (*Leadership in Energy Efficient Design*, liderança em projeto eficiente de energia) para que sejam enxertadas na FT principal da quinta edição. Isso pode se apresentar como uma tendência, visto que no evento que trata sobre a “Sustentabilidade Ambiental” a FIFA recomenda expressamente que as arenas possuam a certificação LEED, tanto para construção quanto para operação e manutenção das arenas. Desta forma, o evento “Sustentabilidade Ambiental” da FT principal (quinta edição) pode receber o enxerto de novas ramificações a partir da leitura e entendimento dos requisitos da certificação LEED.

A Análise de Árvore de Falhas é uma ferramenta da Confiabilidade e recebe este nome devido à aparência de sua representação gráfica semelhante a uma árvore (DeLong, 1970), conforme mostra a Figura III.1. Fundamentalmente o método busca traduzir um item (evento topo) em um diagrama lógico estruturado em que certas causas especificadas (eventos básicos e eventos intermediários) levam à ocorrência de um evento topo pré-definido (Lee *et al.*, 1985).

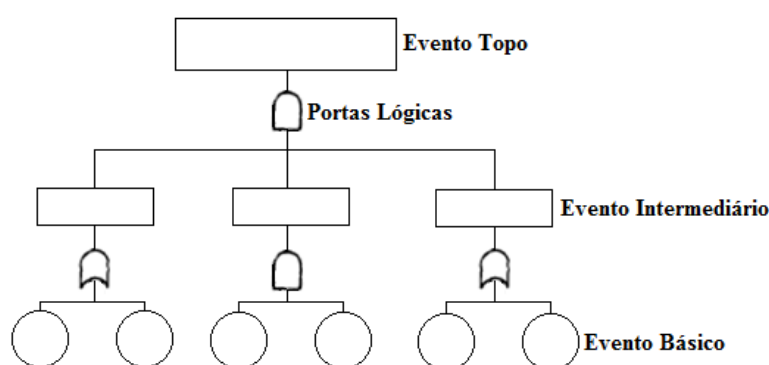


Figura III.1. Exemplo da estruturação de uma FTA.

Fonte: DeLong, 1970 (adaptado).

A aplicação da FTA tem sido fortemente concentrada, desde a sua criação, basicamente no ambiente industrial. Por isso a aplicação desta ferramenta ainda é bastante restrita quando se trata de atividades com severidades menores. Porém, já existem estudos que indicam e recomendam a sua utilização também em áreas com atividades de baixa ou moderada severidade, como, por exemplo, o setor terciário (prestação de serviços), conforme proposto por Carvalho e Scapin (2002) e Geum *et al.* (2009). Outros detalhes podem também ser encontrados no capítulo II.

III.2 MÉTODO

Para a visualização da evolução dos requisitos através de árvore de falhas, além da FT baseada no documento vigente da FIFA (FIFA, 2011), foram elaboradas também FT para as quatro edições anteriores do documento normativo da FIFA, totalizando assim cinco FT. Após o desenvolvimento das FT para as cinco edições existentes, foi possível analisá-las em sequência e chegar a algumas conclusões. As falhas ocorrem quando um item deixa de executar a sua função, e elas são classificadas de acordo com o modo, a causa, o efeito e os mecanismos pelos quais elas ocorrem (Birolini, 1999). Neste trabalho será considerado como falha o não cumprimento de qualquer requisito imposto pela norma vigente que regulamente a prestação de serviço analisada.

A principal técnica de construção de uma FT é conhecida como “Análise Dedutiva” e foi desenvolvida por H. A. Watson em 1961-62 (Lee *et al.*, 1985). Esta mesma técnica foi posteriormente citada e apresentada por outros autores, a exemplo de Hixenbaugh, 1968 e NASA, 2002, e inclusive é a técnica de construção citada pela norma internacional para FTA, a IEC 61025 (IEC, 2006). Segundo estes autores, o processo da “Análise Dedutiva” é constituído de seis etapas, sendo que as etapas de construção são as três primeiras: i) Definição do evento indesejado (evento topo); ii) Entendimento do sistema e iii) Construção da estrutura da árvore de falhas. Na segunda etapa, o objetivo é determinar ou deduzir todas as combinações possíveis de como o evento topo pode acontecer, para isso é necessária a formação do “*Fault Tree Team*” (comitê de árvore de falhas), ou seja, a formação de uma equipe de especialistas. Conforme supracitado, as FT da primeira a quinta edições foram construídas baseadas nos princípios da Análise Dedutiva, e o comitê foi formado pelos autores deste trabalho, com apoio dos documentos da FIFA. A FIFA apresentou os requisitos

necessários através dos seus documentos normativos e as combinações possíveis de falhas foram originadas das negações destes requisitos, enquanto que os autores realizaram a conversão destas falhas em FT.

Para representar diferentes eventos no corpo da FTA diferentes simbologias, são usadas, conforme apresentado na Figura III.2. O evento falha é o evento topo, e representa a falha a ser estudada ou aquela que se quer evitar, já o evento básico é apresentado na base da FTA, pois representa o nível mais detalhado, e por isso não tem *inputs* (entradas). O evento não desenvolvido representa o ramo da árvore que por algum motivo não será desenvolvido naquele determinado momento, enquanto o evento normal apresenta, por exemplo, o funcionamento normal de um equipamento ou componente, mas que relacionado com outro evento pode gerar falha. Por fim, o evento condicional representa algum evento devido ou condicionado a elemento externo [Lee *et al.* (1985); Rausand (2004); Lafraia (2001); IEC 61025 (2006)].



Figura III.2. Simbologia de uma FTA.

Fonte: Lafraia, 2001.

Outra particularidade deste método são as portas lógicas que inter-relacionam causas, apontando se o evento superior a estas causas pode acontecer caso pelo menos uma delas ocorra, ou se somente quando todas elas ocorrerem simultaneamente. Considerando um evento “A”, a porta lógica “OU” indica que o evento “A” ocorrerá se qualquer um dos

eventos que sejam *inputs* de “A” ocorra. Ainda considerando o evento “A”, a porta lógica “E” indica que o evento em questão ocorrerá somente quando todos os *inputs* ocorrerem [Lee *et al.* (1985); Rausand (2004); Lafraia (2001); IEC 61025 (2006)], conforme apresentado na Figura III.3.

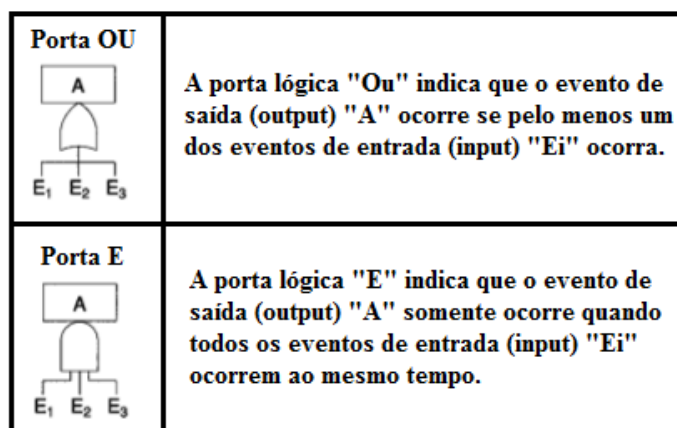


Figura III.3. Portas Lógicas “OR” e “E” de uma FTA.

Fonte: Rausand, 2004 (adaptado).

Já a porta lógica de “Transferência para” indica que a Árvore foi interrompida naquele ponto e que ela é desenvolvida na porta “Transferência de” correspondente em outro documento. Ou seja, a porta “Transferência de” indica que a porção da árvore abaixo dela deve ser conectada à porta “Transferência para” da Árvore Principal. Para facilitar a aplicação desta porta lógica, tanto a porta “Transferência de” quanto a porta “Transferência para” devem ser identificadas com um algoritmo [Rausand (2004); IEC 61025 (2006)], conforme a Figura III.4.

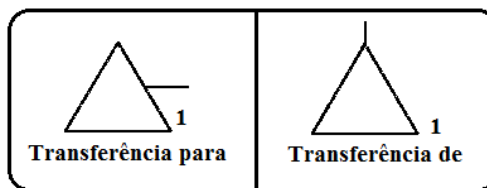


Figura III.4. “Transferência para” e “Transferência de” identificadas pelo algarismo “1”.

Fonte: Rausand, 2004 (adaptado).

Para a prática dos enxertos foram utilizadas portas “Transferência para” e “Transferência de” para indicar exatamente onde estão enxertados os novos ramos da certificação LEED na FT principal. Esta prática é baseada na técnica “*Comparative Fault Tree Analysis*” (Arcidiacono, 2003) com a adição de “*new branches*” (novos ramos) em um sistema-1 (FT principal). Desta forma, os novos ramos são considerados como sistema-2, ou seja, novos ramos que possuem aderência com a FT principal (sistema-1) podem ser enxertados nela, respeitando as particularidades do sistema-2, formando um único sistema (uma única FT).

III.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O documento que estabelece normas e requisitos para o megaevento Copa do Mundo é elaborado de forma a ser acultural, ou seja, o mesmo documento é aplicado em diferentes Copas sediadas em diferentes países com diferentes culturas e particularidades. Desta forma, cabe ao país postulante a sediar este evento analisar se as exigências são pertinentes e compatíveis com suas condições atuais, principalmente nas áreas contábil, logística, política, entre outras.

Vale ressaltar que este documento somente foi criado em 1994, embora a realização da Copa do Mundo exista desde 1930. Além disso, a sua renovação não apresenta padrão quanto à periodicidade, de forma que já houve intervalos de tempo de um ano (1994-1995) e de sete anos (2000-2007) entre duas edições subsequentes. A linha do tempo contemplando a anos de publicação das edições, bem como a indicação dos países sede, pode ser vista na Figura III.5.

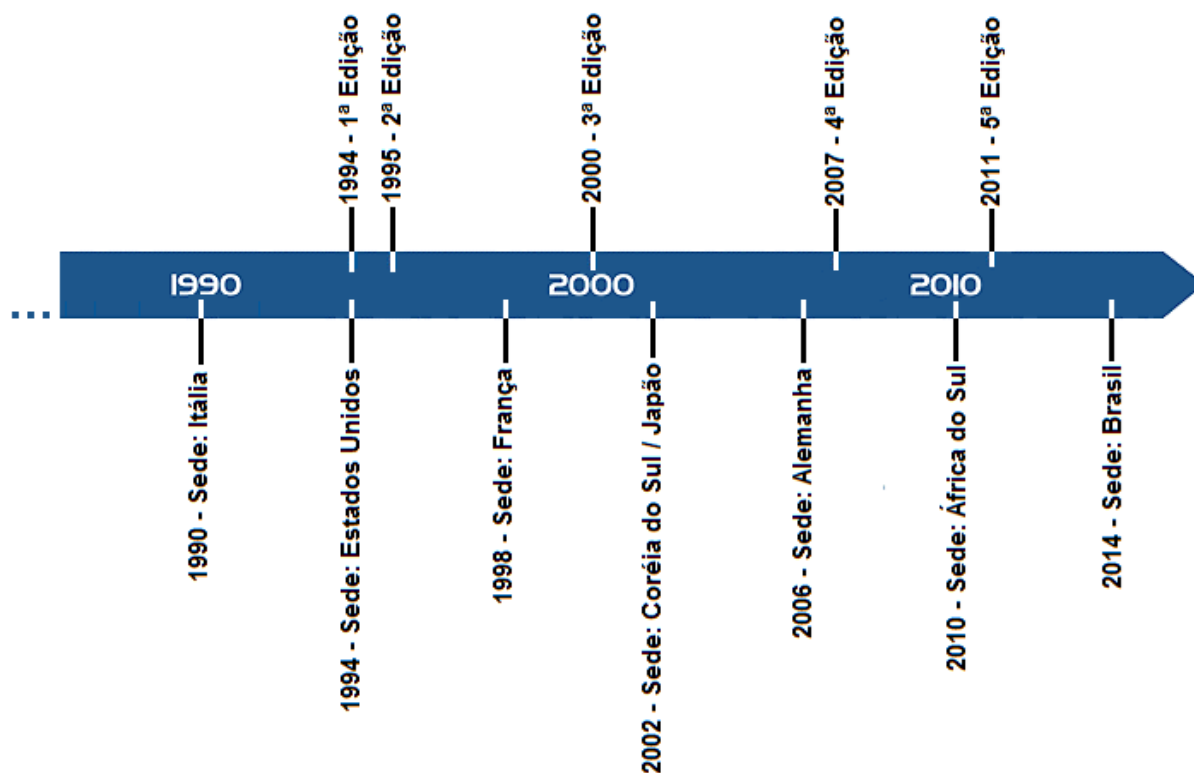


Figura III.5. Linha do tempo – Anos de publicação dos documentos normativos da FIFA.

III.3.1 Análise da Evolução dos Requisitos da FIFA a partir da Construção de Árvores de Falhas

As FT da primeira a quinta edições podem ser vistas nas Figuras III.6, III.7, III.8, III.9 e III.10, e uma análise objetiva da evolução através das cinco edições é apresentada na Tabela III.1, seguida de alguns comentários.

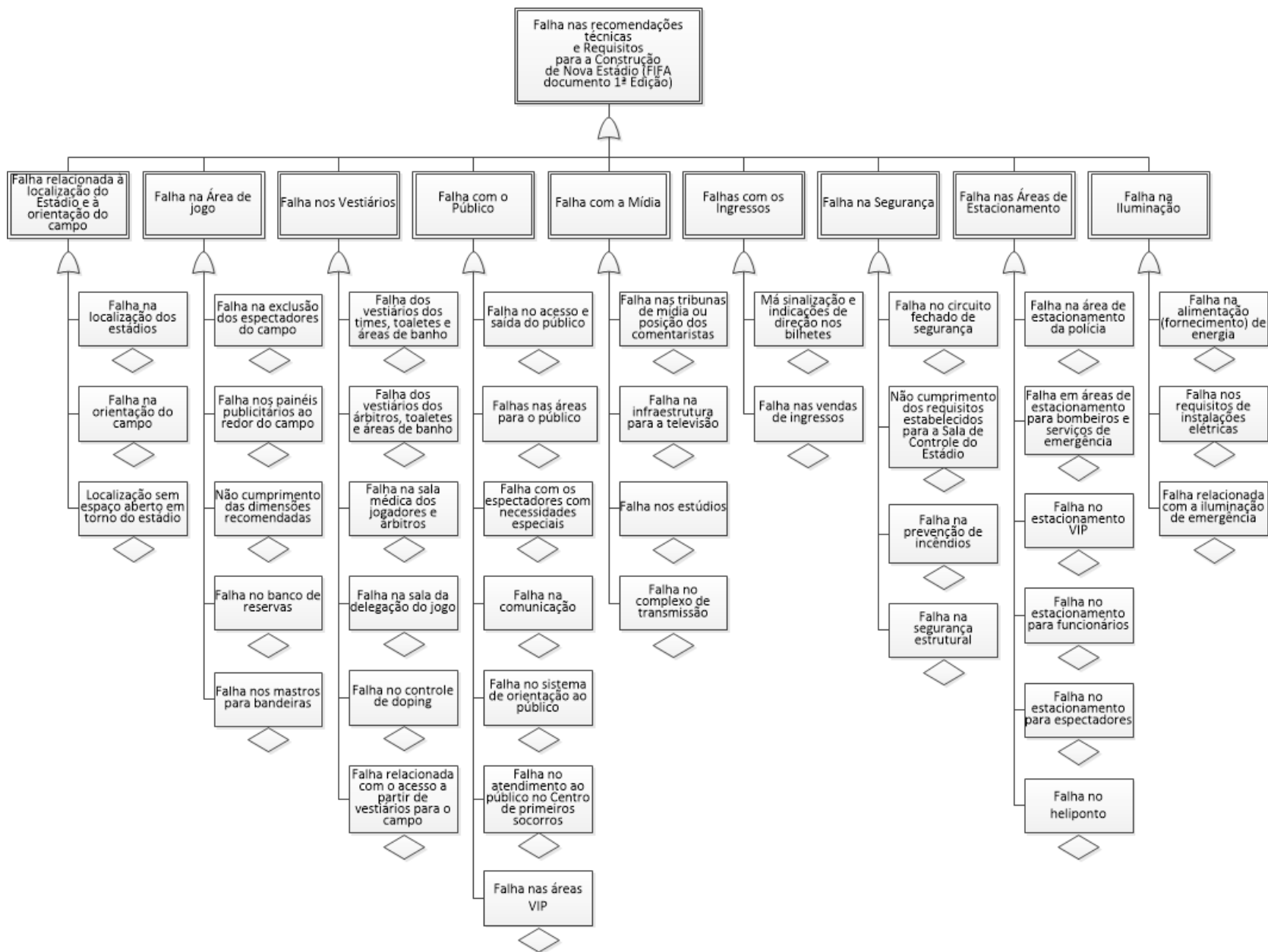


Figura III.6. FT (Documento Normativo 1ª Edição).

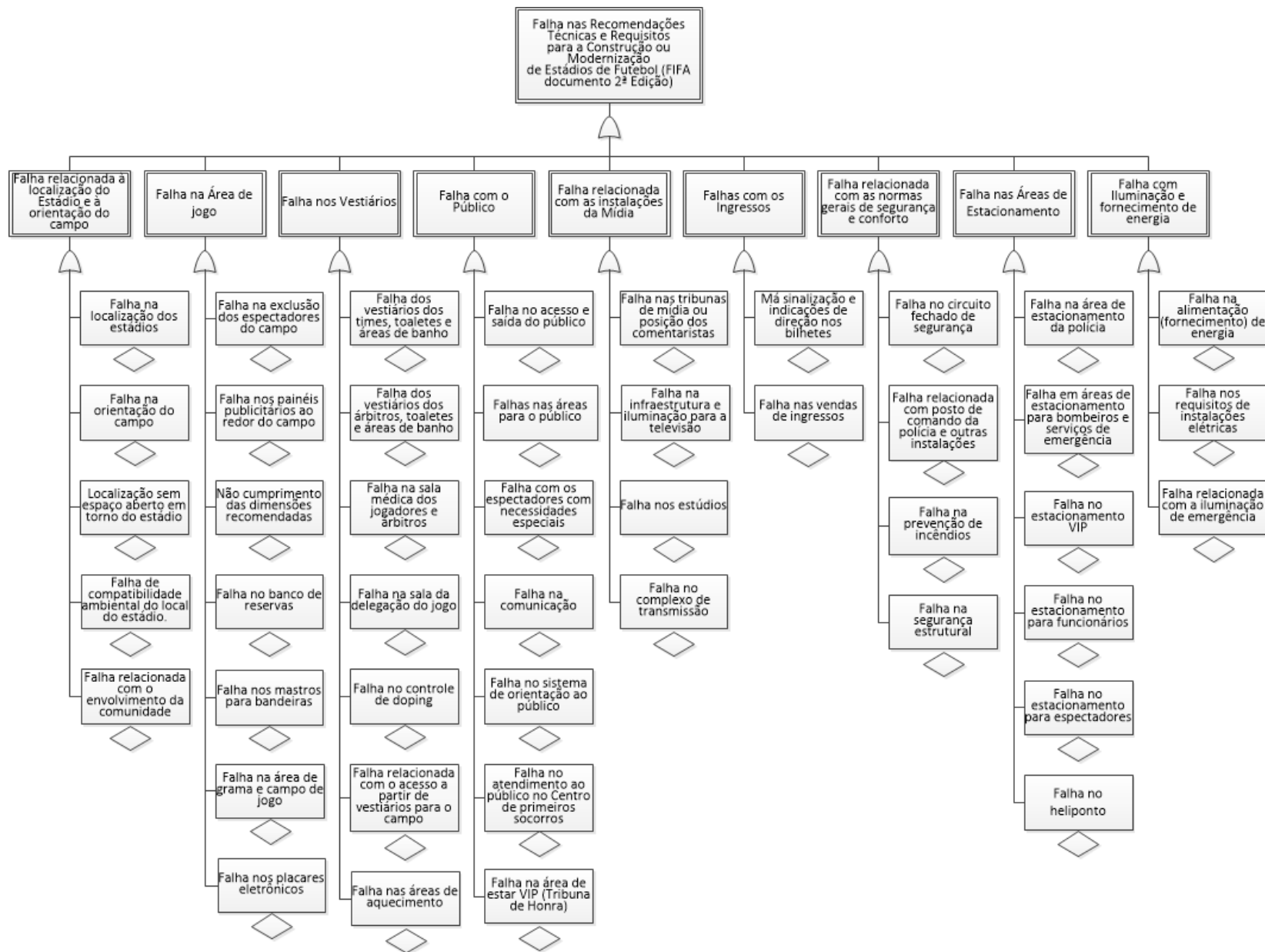


Figura III.7. FT (Documento Normativo 2ª Edição).

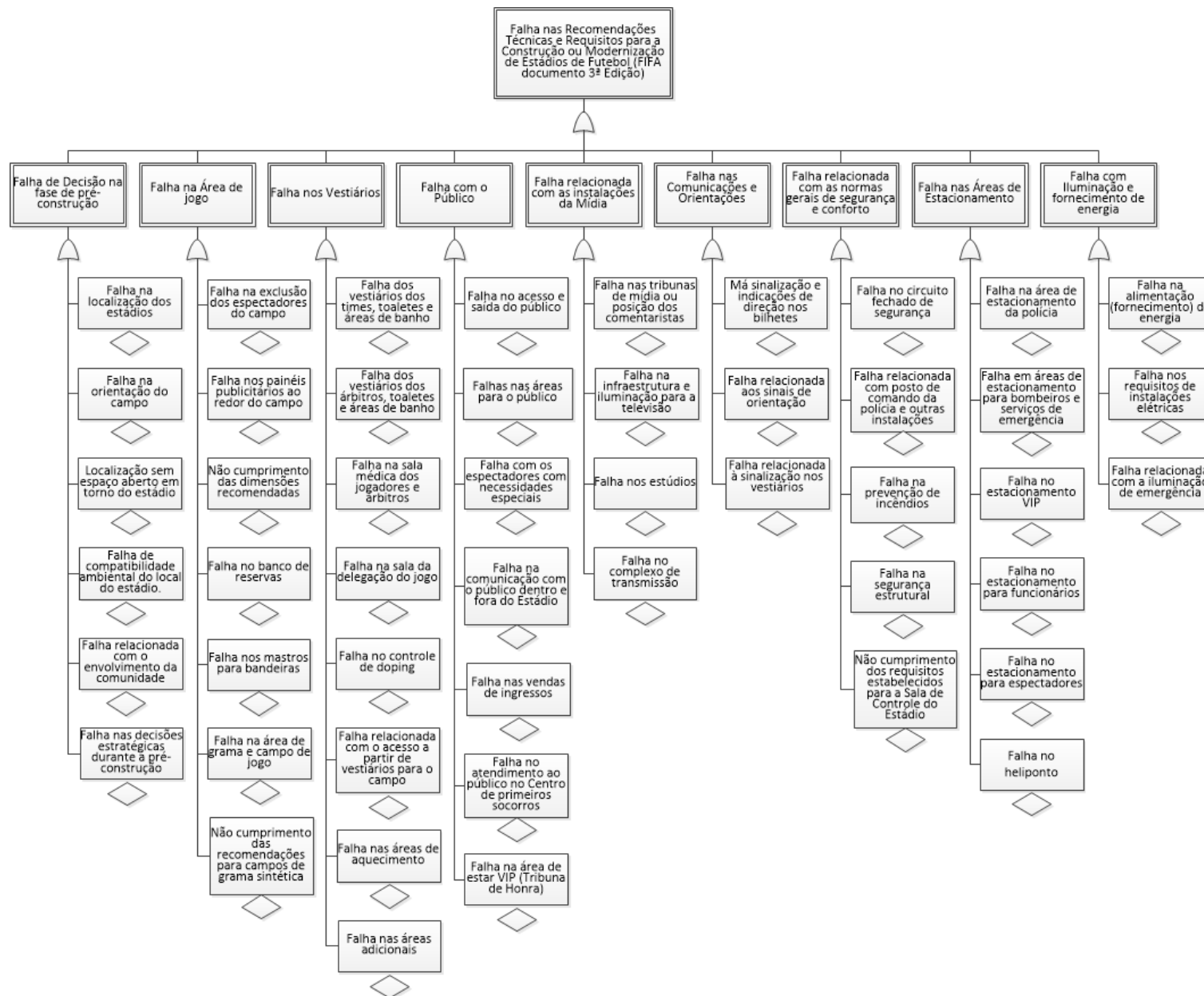


Figura III.8. FT (Documento Normativo 3ª Edição).

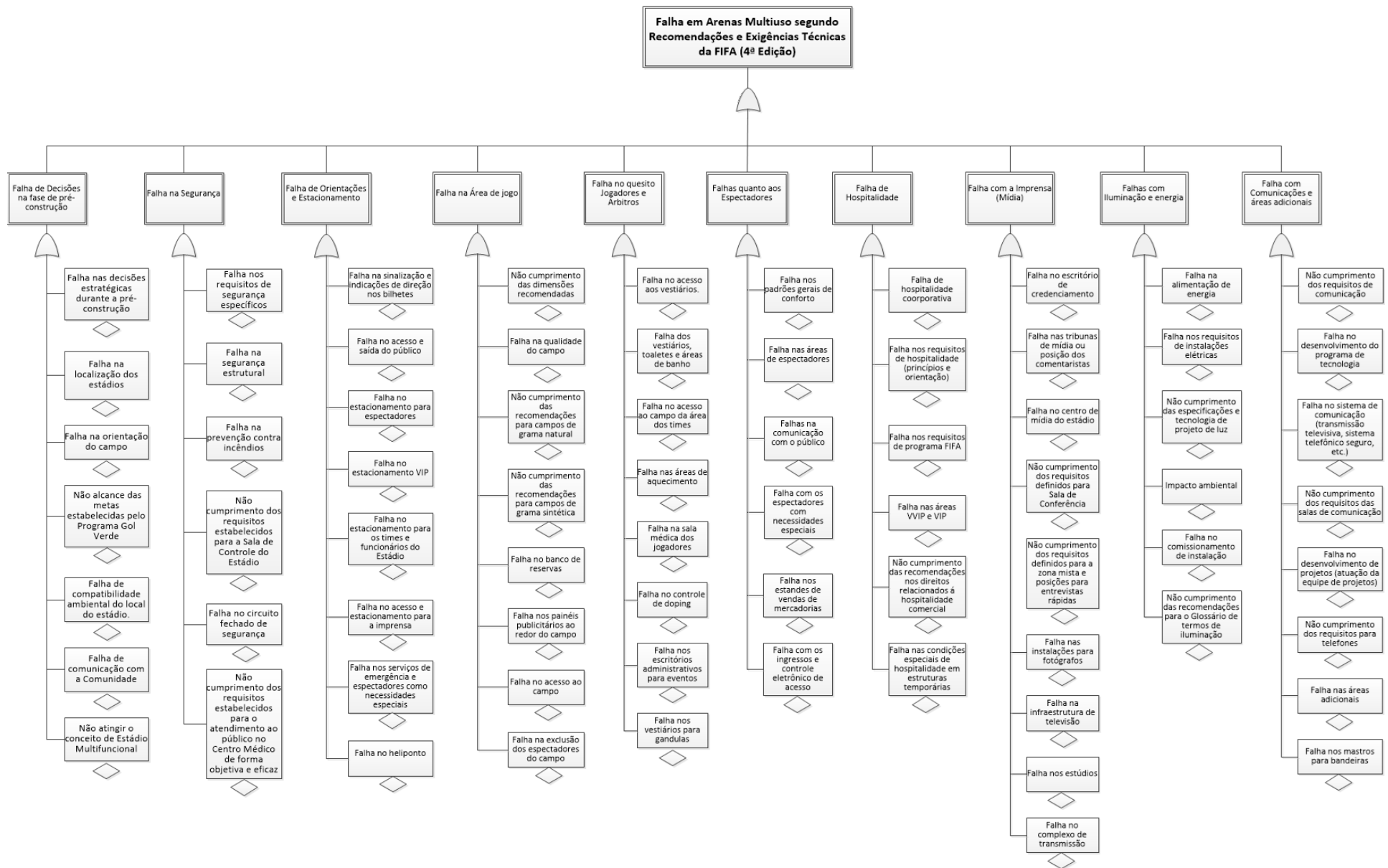


Figura III.9. FT (Documento Normativo 4ª Edição).

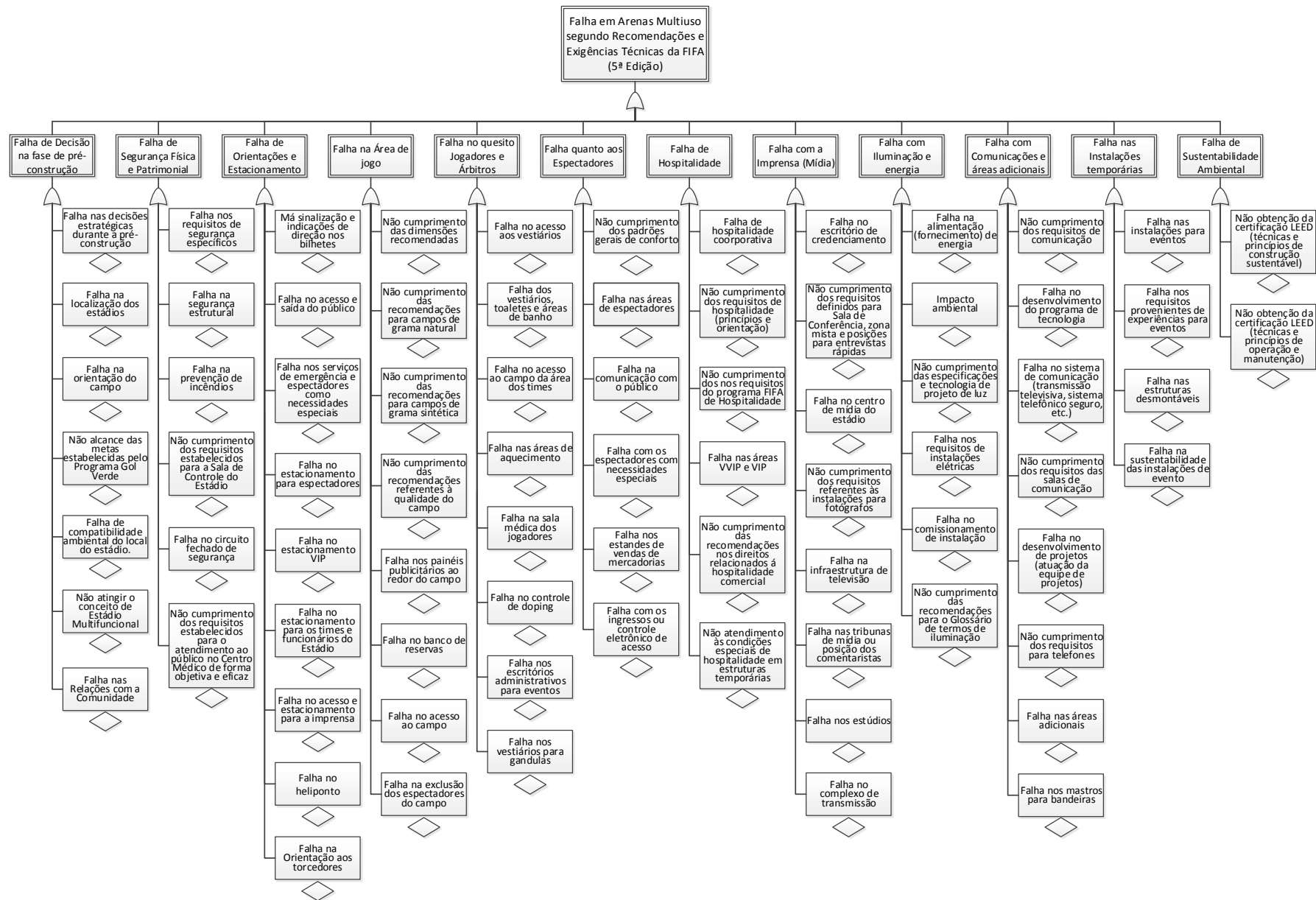


Figura III.10. FT (Documento Normativo 5ª Edição).

Tabela III.1. Comparação das FT da 1ª a 5ª Edições

Itens da 5ª Edição	Transição 1ª/2ª Edição	Transição 2ª/3ª Edição	Transição 3ª/4ª Edição	Transição 4ª/5ª Edição
Falhas de Decisões na Fase de Pré-Construção	Este item foi primeiramente chamado de “Localização do Estádio e Orientação do Campo de Jogo”. Da 1ª para a 2ª edição foram adicionados os subitens: “Compatibilidade Ambiental”; e “Envolvimento com a Comunidade”.	O item passou a ter o seu nome atual “Falha de Decisões na Fase de Pré-Construção”, e o subitem relacionado às decisões da fase de pré-construção foi criado.	Os itens “Estratégias de Pré-Construção, Localização e Orientação do Gramado”, “Compatibilidade Ambiental” e “Envolvimento com a Comunidade”, foram unificados dentro do item “Falha de Decisões na Fase de Pré-Construção”. Além da unificação dos itens citados, o novo item ainda engloba a criação dos quesitos: “Programa Gol Verde”; e a necessidade de se atingir o conceito de “Estádio Multifuncional”.	Aprofundamento no item “Falha de comunicação com a Comunidade”. O quesito sustentabilidade é bastante aprofundado dentro do item “Programa Gol Verde”, de forma que o “Programa Gol Verde” recebeu diversas atualizações e requisitos mais severos, inclusive a indicação expressa de se seguir as diretrizes da certificação LEED (<i>Leadership in Energy Efficient Design</i>).
Falhas na Segurança	Da 1ª para a 2ª edição o item “Segurança” foi unificado ao item “Conforto”.	Sem mudanças significativas.	O item “Conforto e Segurança” foi fragmentado, de forma que conforto foi realocado para o item referente a “Espectadores” e “Segurança” ganhou um item próprio e único, com mais detalhes.	Na quarta versão este item era abordado de forma generalista, porém a quinta edição apresenta requisitos mais severos, além de subdividi-lo em “Segurança Física” e “Segurança Patrimonial”.
Falhas de Orientações e Estacionamento	O item relativo ao relacionamento com o público e o item relacionado aos estacionamentos eram separados e se mantiveram assim, sem mudanças significativas.	O item relacionado ao relacionamento com o público e o item relacionado aos estacionamentos eram separados e se mantiveram assim, sem mudanças significativas.	O item recebeu o nome atual: “Falha de Orientações e Estacionamento”. O item relacionado ao estacionamento heliponto foi acrescido de requisitos referentes à orientação (coordenadas geográficas nos ingressos, zonas com cores diferentes, identificação das áreas com letras/números, etc.).	Sem mudanças significativas.
Falhas na Área de Jogo	Criou-se o subitem referente às especificações para a grama natural.	Criou-se o subitem referente às especificações para a grama artificial.	Criou-se o subitem referente às especificações para o acesso seguro ao campo por partes dos árbitros e jogadores.	Sem mudanças significativas.
Falhas no Quesito Jogadores e Árbitros	Itens eram separados: - “Vestiários”; - “Toaletes e Áreas de Banho para Jogadores, Árbitros e Oficiais”.	Criação dos itens: - “Controle de <i>Doping</i> ”; - “Sala Médica dos Jogadores e Árbitros”; - “Áreas de Aquecimento”; - “Acesso ao Campo da Área dos Times”. Ainda eram mantidos separados dos demais itens criados anteriormente.	Os itens relacionados aos “Vestiários, Toaletes e Áreas de Banho para Jogadores, Árbitros e Oficiais”, juntamente com os itens “Controle de <i>Doping</i> ”, “Sala Médica dos Jogadores e Árbitros”, “Áreas de Aquecimento” e “Acesso ao Campo da Área dos Times” foram unificados para a criação de único item chamado “Falha no Quesito Jogadores e Árbitros”. Além da unificação dos itens citados, o novo item ainda engloba a criação dos quesitos: “Vestiários para Gandulas”; e “Escritórios Administrativos para Eventos”.	Sem mudanças significativas.
Falhas quanto aos Espectadores	Era unificado com o subitem referente à orientação ao público.	Sem mudanças significativas.	Os itens “Conforto”, “Comunicação com o Público dentro e fora do Estádio”, “Entrada e Saída do Público”, “Áreas dos Espectadores” e “Espectadores com Necessidades Especiais” foram unificados para a criação do item “Espectadores”. Além da unificação, o novo item ainda engloba a criação dos quesitos: “Estandes de Vendas”; e “Ingressos/Controle Eletrônico de Acesso”.	Sem mudanças significativas.

Itens da 5ª Edição	Transição 1ª/2ª Edição	Transição 2ª/3ª Edição	Transição 3ª/4ª Edição	Transição 4ª/5ª Edição
Falhas de Hospitalidade	Não Existia.	Não Existia.	Criação deste item.	Sem mudanças significativas.
Falhas com a Imprensa (Mídia)	Sem mudanças significativas.	Sem mudanças significativas.	Criação dos quesitos: “Escritório de Credenciamento”; “Instalações para Fotógrafos”, “Estúdios”; e “Complexo de Transmissão”.	O item referente aos requisitos para procedimentos e zonas de entrevistas foi unificado. Agora um único item trata sobre sala de conferência, zonas mistas, posições para entrevistas rápidas, etc.
Falhas com Iluminação e energia	Sem mudanças significativas.	Sem mudanças significativas.	O item “Luz e Fornecimento de Energia” ganhou maior robustez com a criação dos quesitos: “Impacto Ambiental”; “Comissionamento de Instalação”; e “Recomendações para o Glossário de Termos de Iluminação”.	Sem mudanças significativas.
Falha com Comunicações e áreas adicionais	O item relacionado à comunicação estava contido no item relacionado às orientações ao público e o item relacionado às áreas adicionais não existia.	Sem mudanças significativas.	Os itens “Comunicação” e “Mastro para Bandeiras” foram unificados para a criação do item “Comunicação e Áreas Adicionais”. Além da unificação, o novo item ainda engloba a criação dos quesitos: “Desenvolvimento do Programa de Tecnologia”; “Atuação da Equipe de Projetos”; e “Requisitos para Telefones”.	Sem mudanças significativas.
Falha nas Instalações Temporárias	Não Existia.	Não Existia.	Não Existia.	Criação deste item.

Através da análise das cinco FTA e da esquematização da evolução em forma de tabela, é possível identificar alguns itens importantes quanto à evolução e tendências para as próximas edições. A comparação entre as cinco FTA mostra que os itens “Segurança” e “Decisões na Fase de Pré-construção” sofreram muitas alterações e requerem uma atenção especial. O item “Segurança” se tornou mais robusto e foi subdividido em “Segurança Física” e “Segurança Patrimonial”, provavelmente devido à tendência da FIFA de dar mais importância às questões de segurança, inclusive punindo infratores, naturalmente dentro de sua esfera de competência. Já o item “Decisões na Fase de Pré-Construção” teve o seu sub-item “Sustentabilidade Ambiental” melhorado com a criação do “Programa Gol Verde”, com a inclusão de diversas atualizações motivadas pelo aumento da valorização de políticas voltadas para a questão ambiental que tem se observado no cenário mundial. Desta forma, este é um item que possui potencial para se tornar mais robusto e detalhado nas próximas edições, visto que o clamor mundial por políticas que preservem o meio ambiente é cada vez maior nos dias atuais.

Destaca-se também a criação dos itens “Instalações Temporárias” e “Hospitalidade”, o que pode representar uma potencial tentativa da FIFA em sanar as críticas levantadas por diversos autores supracitados a respeito dos legados. O item “Instalações Temporárias” traz benefícios aos proprietários das arenas com a oportunidade de inúmeras fontes de renda e arrecadação, bem como a possibilidade de se aumentar a capacidade do estádio para jogos de maior apelo. Já o item “Hospitalidade” mostra que a FIFA está ciente de que cada vez mais é importante a captação de parceiros e patrocinadores para a gestão e viabilidade financeira das arenas, inclusive com a atual prática mundial da comercialização de *naming rights* (venda do nome da arena para algum patrocinador). Desta forma, é preciso oferecer certos benefícios aos parceiros e patrocinadores, tais como: camarotes; áreas VIP (*Very Important People*, pessoas muito importantes); entre outros. Estes também são itens que possuem potencial de crescer bastante nas próximas edições, visto que as instalações temporárias e a hospitalidade permitem uma melhor gestão do equipamento (arena), bem como otimizam a sua viabilidade financeira e potencializam a existência de um legado positivo. Em relação a essa questão financeira, as instalações temporárias oferecem aos gestores da arena a possibilidade de realização de uma gama de eventos com fontes de renda alternativas, não os deixando apenas dependentes do futebol, podendo promover ações tais como: *shows*; feiras; congressos; formaturas; aceitar por um período de tempo a instalação de parques temáticos ou circos;

entre outros. Vale ressaltar que, através dos requisitos, a FIFA exige que o mesmo padrão de normas a serem atendidos para estruturas fixas também seja praticado nas estruturas temporárias. Já a hospitalidade oferece benefícios de conforto e comodidade para a captação de parceiros e patrocinadores para a arena em si (comercialização de *naming rights* ou ainda a venda exclusiva de um tipo de produto, bebidas de uma única marca, por exemplo) ou ainda a captação de parceiros e patrocinadores para um evento específico.

III.3.2 A Prática de Enxertos

A construção das duas FTA referentes ao LEED (tanto para construção quanto para a operação e manutenção das arenas) seguiu o mesmo método de construção proposto pelas técnicas de construção de árvores de falhas. A Figura III.11 destaca em vermelho uma parte da FT principal baseada na 5ª Edição (norma vigente) onde a FTA referente ao LEED para a construção das arenas (Figura III.12) deve ser enxertada ao item “Não Obtenção da Certificação LEED (técnicas e princípios de construção sustentável)”, destacado com a porta de transferência “L1”. Já a FTA referente ao LEED para a manutenção das arenas (Figura III.13) deve ser enxertado ao item “Não Obtenção da Certificação LEED (técnicas e princípios de operação e manutenção)”, destacado com a porta de transferência “L2”.

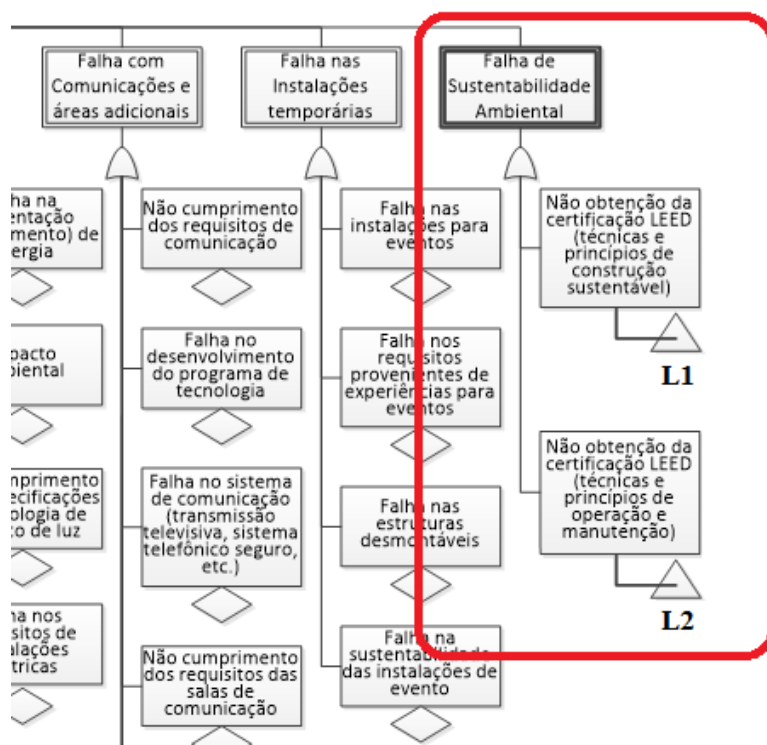


Figura III.11. Ramo da FT principal (5ª Edição) para Indicação dos Pontos que Receberam os Enxertos do LEED.

Quanto à aplicação de enxertos, foi desenvolvido um enxerto com o consequente enriquecimento na FT baseada na 5ª edição dos requisitos da FIFA. Neste enxerto, o evento relacionado à “Sustentabilidade Ambiental” recebeu enxertos de duas ramificações: a primeira com os requisitos do LEED referentes à construção (Figura III.12); e a segunda com os requisitos do LEED referentes à operação e manutenção (Figura III.13).

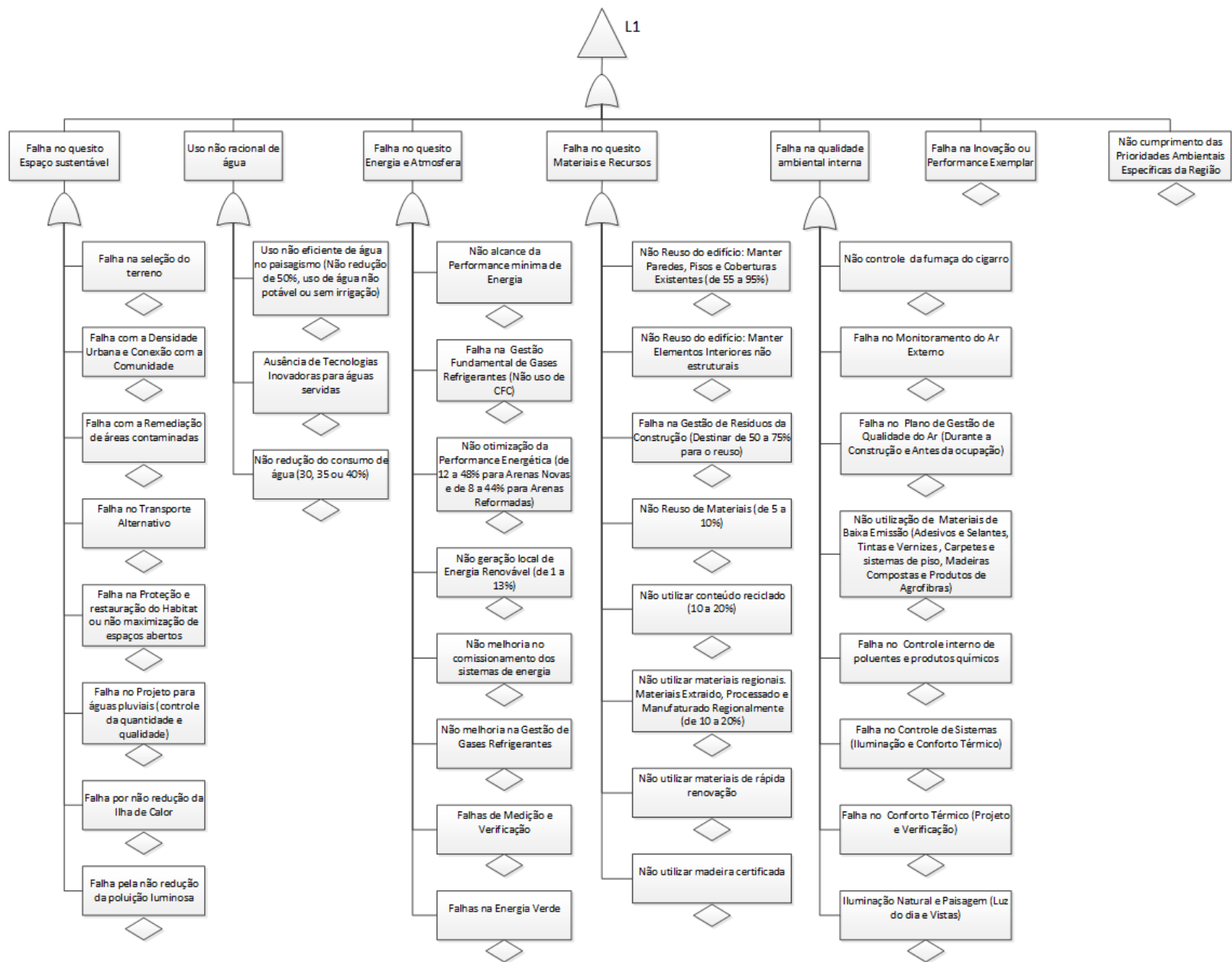


Figura III.12. Excerto com os Requisitos do LEED Referentes à Construção.

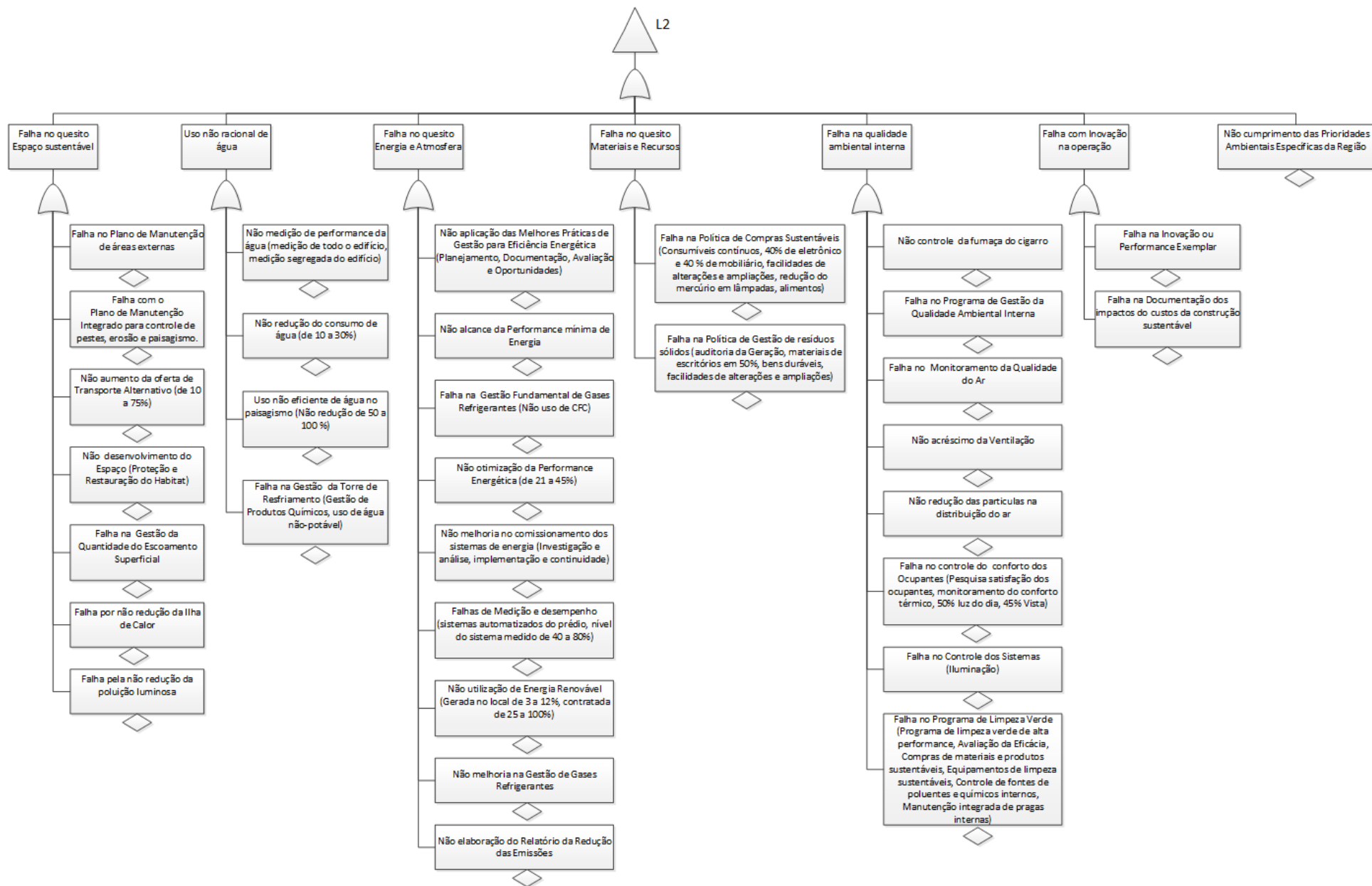


Figura III.13. Enxerto com os Requisitos do LEED Referentes à Manutenção.

A prática de construção de novas FTA para serem enxertadas em uma FTA principal se mostra bastante viável e aplicável, trazendo como benefício a obtenção de uma FTA final única e completa, evitando a necessidade de se trabalhar com diversas FTA para diversas normas diferentes. Isso, porém, deve ser feito para normas que possuam algum tipo de correlação, como no caso exemplificado neste trabalho: a FTA principal se baseia na quinta edição do documento normativo da FIFA, porém a partir do momento que a própria FIFA indica, na sua norma, a necessidade de se obter a certificação LEED (que possui seus próprios requisitos), se justifica a prática do enxerto, gerando uma FTA única que contempla ambas as normas.

III.4 CONCLUSÃO

As técnicas de construção de árvores de falhas apresentam como potencial benefício a possibilidade de representar documentos normativos em forma de FT e com isso poder realizar uma análise sobre a evolução de diferentes edições da mesma norma, levantando assim possíveis tendências para a próxima edição. Além disso, este trabalho apresenta também a prática de enxertos, caso seja necessária a utilização de outros requisitos para compor uma árvore de forma mais ampla.

Neste trabalho o documento normativo da FIFA foi apresentado em forma de FT, possibilitando assim a obtenção de uma descrição mais visual dos requisitos. A comparação dos requisitos das diferentes edições utilizando as cinco FT se mostrou adequada e trouxe importantes informações, tais como: os itens “Segurança” e “Decisões na Fase de Pré-Construção” sofreram muitas alterações e requerem uma atenção especial. Este último item teve o seu sub-item “Sustentabilidade Ambiental” aprimorado com a criação do “Programa Gol Verde”, provavelmente motivado pelo aumento da valorização de políticas voltadas para a questão ambiental no cenário mundial. Assim, este é um item que possui potencial para se tornar mais robusto e detalhado nas próximas edições.

Destaca-se também a criação dos itens “Instalações Temporárias” e “Hospitalidade”. O primeiro traz benefícios aos proprietários das arenas com a oportunidade de inúmeras fontes de renda e arrecadação, e o segundo mostra que a FIFA está ciente de que cada vez mais é importante a captação de parceiros e patrocinadores para a gestão e viabilidade financeira das arenas. Estes também são itens que possuem potencial de crescer bastante nas próximas edições, e podem ser vistos como uma demonstração da tentativa da FIFA em otimizar a

probabilidade de se deixar um legado positivo no pós-Copa.

Além disso, ressalta-se que é viável a prática de enxertos nas árvores de falhas, procedimento aqui apresentado e aplicado. Esta prática deve ser aplicada caso seja necessária a utilização de outros requisitos para compor a árvore de forma mais completa. Neste trabalho, o item da 5ª Edição do documento normativo da FIFA relacionado à “Sustentabilidade Ambiental” recebeu enxertos da certificação LEED (*Leadership in Energy Efficient Design*, liderança em projeto eficiente de energia), tanto para a construção quanto para a operação e a manutenção das arenas.

Por fim, é importante citar que para um equipamento de Copa do Mundo se tornar um legado de megaevento e de gestão esportiva positivo para a região onde está situado é necessário adaptar a FT para a realidade local após a realização da Copa do Mundo. Desta forma, o equipamento continuará apto para hospedar novos eventos futuros da magnitude da Copa (exemplo: novas Copas, Olimpíadas, eliminatórias da Copa do Mundo, *etc.*), mas também estará apto para hospedar eventos locais de menor complexidade de apelo, tornando o equipamento constantemente utilizado, lucrativo e útil dentro da realidade local.

NOTAÇÃO

Abreviaturas

DFTA	<i>Dynamic Fault Tree Analysis</i> - análise de árvore de falhas dinâmica;
FIFA	<i>Fédération Internationale de Football Association</i> - Federação Internacional de Futebol;
FT	<i>Fault Tree</i> – árvore de falha
FTA	<i>Fault Tree Analysis/ Failure Tree Analysis</i> - análise de árvore de falhas;
GBC	<i>Green Building Council</i> - Conselho para Construções Verdes;
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> – Comissão Eletrotécnica Internacional
LEED	<i>Leadership in Energy Efficient Design</i> - liderança em projeto de energia eficiente;
VIP	<i>Very Important People</i> - Pessoas muito importantes;
UEFA	<i>Union of European Football Associations</i> - União das Federações Associações Europeias de Futebol.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arcidiacono, G. Development of a FTA versus Parts Count Method Model: Comparative FTA. *Quality and Reliability Engineering International*, 19, 411-424, 2003.
- BAHIA. Contrato de parceria público privada na modalidade de concessão administrativa para reconstrução e operação do Estádio Octávio Mangabeira ("Estádio da Fonte Nova"). Secretaria do Trabalho, Emprego, Renda e Esporte - SETRE do Governo do Estado da Bahia. Salvador - BA, p. 94. 2010.
- Birolini, A. *Reliability Engineering: Theory and Practice*, 3 ed., Springer, 1999.
- Cabral, S., Silva Jr. An approach for evaluating the risk management role of governments in public- private partnerships for mega-event stadiums. *European Sport Management Quarterly*, vol. 13, No. 4, 472-490, 2013.
- Carvalho, A., Scapin, C. Service Fault Tree Analysis: Its Use for Improving the Efficiency of Service Process. *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 2002.
- Cashman, R. *The bitter-sweet awakening. The legacy of the Sydney 2000 Olympic Games*. Sydney: Walla Walla Press, 311 p., 2005.
- CEARÁ. Contrato de concessão administrativa nº 001/2010 que entre si celebram a secretaria do esporte e a Arena Castelão Operadora de Estádio S.A. e seus controladores, com a interveniência do departamento de edificações e rodovias. Secretaria do Esporte do Governo do Estado do Ceará. Fortaleza - CE, p. 50. 2010.
- Chappelet, J. L. The tale of three Olympic Cities –forecast for Torino on basis of Grenoble and Innsbruck. *XX Winter Olympic Games Symposium*, Turin, 9 February 2006.
- Cornelissen, S. More than a Sporting Chance? Appraising the sport for development legacy of the 2010 FIFA World Cup. *Third World Quarterly*, Vol. 32, No. 3, 503–529, 2011.
- Delong, T.. *A Fault Tree Manual*. Texas A&M University. 1970
- Eick, V. Lack of Legacy? Shadows of Surveillance after the 2006 FIFA World Cup in Germany. *Urban Studies*, 48, 3329–3345, 2011.

FIFA - Fédération Internationale de Football Association. Aigner, G., Walker, E., Kurth, T., Livingstone, N., Tognoni, G. Technical Recommendations and Requirements for the Construction of New Stadia. 1. Ed. Fédération Internationale de Football Association, 1994.

FIFA - Fédération Internationale de Football Association. Schmidt, R., Cooper, K., Gagg, W., Walker, E., Negroni, C. Technical Recommendations and Requirements for the Construction or Modernisation of Football Stadia. 2. Ed. Fédération Internationale de Football Association, 1995.

FIFA - Fédération Internationale de Football Association. Gagg, W., Schmidt, R., Konsek, M., Negroni, S., Mandetta, S. Technical Recommendations and Requirements for the Construction or Modernisation of Football Stadia. 3. Ed. Fédération Internationale de Football Association, 2000.

FIFA - Fédération Internationale de Football Association. Brown, J., DelMont, R., Botta, C., Reddy, R., Ragain, E., Beynon, M. Football Stadiums - Technical Recommendations and Requirements. 4. Ed. Fédération Internationale de Football Association, 2007.

FIFA - Fédération Internationale de Football Association. DelMont, R., Botta, C., Reddy, R. Football Stadiums - Technical Recommendations and Requirements. 5. Ed. Fédération Internationale de Football Association, 2011.

FIFA. About FIFA. Fédération Internationale de Football Association. Disponível em: <www.fifa.com>. Acesso em: 22 abr. 2015.

GBC. U.S. Green Building Council. Disponível em: <www.usgbc.org/>. Acesso em: 04 abr., 2016.

Geum, Y., Seol, H., Lee, S., Park, Y. Application of Fault Tree Analysis to the Service Process: Service Tree Analysis Approach. Journal of Service Management, 20, 433-454, 2009.

Hixenbaugh, A. Fault Tree for Safety. Boeing Aerospace Company Research and Engineering Division. Seattle, Washington. 1968.

IEC. IEC 61025 - Fault Tree Analysis. International Electrotechnical Commission, 2006.

Lafraia, J.R.B. Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Ed. Qualitymark, 2001.

Lee, W., Grosh, D., Tillman, F., Lie, C. Fault Tree Analysis, Methods, and Applications - A Review. IEEE Transactions on Reliability, R-34, 194-203, 1985.

MINAS GERAIS. Contrato de concessão administrativa exploração, mediante concessão administrativa, da operação e manutenção, precedidas de obras de reforma, renovação e adequação do complexo do mineirão, em conformidade com a lei federal nº 11.079/2004 e a lei estadual. Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão - SEPLAG do Governo do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte - MG, p. 76. 2010.

Molloy, E., Chetty, T. The Rocky Road to Legacy: Lessons from the 2010 FIFA World Cup South Africa Stadium Program. Project Management Journal, Vol. 46, No. 3, 88–107, 2015.

Nasa. Fault Tree Handbook with Aerospace Applications. NASA Office of Safety and Mission Assurance NASA Headquarters. Washington, DC. 2002.

PERNAMBUCO. Contrato de concessão administrativa para exploração da Arena Multiuso da Copa 2014 em conformidade com a Lei Federal 11.079/04, e as Leis Estaduais Nº 12.765/05 e Nº 12.976/05 e Nº 13.282/07. Comitê Gestor do Programa Estadual de Parcerias Público-Privadas - CGPE do Governo do Estado de Pernambuco. Recife - PE, p. 99. 2010.

Preuss, h.; solberg , h.; alm, j. Managing the World Cup –The challenge of utilising the venues. Working paper, 2013.

Rausand, M. A. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications. Wiley-Interscience, 2a ed. New Jersey, Estados Unidos da América, 2004.

REIS, C. J. O., CABRAL, S. Parcerias Público-Privadas (PPP) na provisão de arenas esportivas para a Copa do Mundo FIFA Brasil 2014. XXXIX XXXIX EnANPAD - Encontro da Associação Nacional de PósGraduação e Pesquisa em Administração, Belo Horizonte-MG, v. 39, 2015.

RIO GRANDE DO NORTE. Contrato de concessão administrativa n.º 001/2011 para demolição e remoção do machadão e machadinho, construção, manutenção e gestão da operação do estádio das dunas – novo machadão e de seu estacionamento. Departamento de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Norte – DER do Governo do Estado do Rio Grande do Norte. Natal - RN, p. 60. 2011.

Roche, M. Mega-events and modernity: Olympics and expos in the growth of global culture. New York: Routledge, 2000.

Capítulo IV. Desenvolvimento da Abordagem

Multistakeholder para Análise de Árvore de Falhas no Setor Terciário

F. C. Gonçalves^a, C. A. Amaro^a, I. Sartori^a, M. Embiruçu^a

fc_goncalves@hotmail.com, carol.amaro@gmail.com, sartori@ufba.br, embirucu@ufba.br

^a Programa de Engenharia Industrial (PEI), Escola Politécnica (EP), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Rua Prof. Aristides Novis, nº 2, Federação, CEP: 40210-630, Salvador-BA, Brasil.

Resumo: A análise de árvore de falhas (FTA, *Fault Tree Analysis*) vem sendo amplamente utilizada desde a sua criação, principalmente no ambiente industrial (ou em aplicações de alta severidade ou alto risco, que possuem a obrigatoriedade legal de estudos de análise de risco), por proporcionar conhecimento aprofundado do sistema/ equipamento e da sua confiabilidade. Apesar de sua aplicação ainda ser bastante restrita quando se trata de atividades com severidades menores, já existem estudos que recomendam a utilização desta ferramenta para outras áreas além do ambiente industrial, como, por exemplo, os processos de serviço (setor terciário). Este trabalho visa propor uma abordagem para a análise de árvores de falhas com foco em melhorar a sua aplicabilidade para o setor terciário. As principais técnicas de construção de árvores de falhas foram avaliadas e a abordagem aqui desenvolvida propõe uma construção dinâmica da FT e a ampliação da equipe multidisciplinar que participa dessa construção, baseada no conceito de *multistakeholders* (multi-agentes-chave) inserido no paradigma colaborativo da *Web 2.0*. A nova abordagem foi utilizada em um estudo de caso na Copa do Mundo FIFA de 2014 (regida pela quinta edição do documento normativo da FIFA) e apresenta potencial de diminuição de custos, ou pelo menos de sua diluição ao longo do tempo. Além disso, ela oferece também a possibilidade de se praticar enxertos de mais de uma norma reguladora do serviço na FT, bem como o acompanhamento da evolução dos documentos normativos e a identificação do cenário de tendências da entidade reguladora do serviço em questão, se constituindo em uma alternativa adicional e um aperfeiçoamento para o método *Service Tree Analysis* (STA, análise de árvore de serviços). A abordagem proposta apresenta ainda potenciais benefícios para a análise de árvore de falhas dinâmica (*Dynamic Fault Tree Analysis*, DFTA) e para análises que contemplem grande influência da confiabilidade humana. Para manter a completude deste texto, a seção II.2.3, assim como partes da seção II.2.5 (do início até a Figura II.7) e da seção II.5, desta dissertação é repetida

aqui (nas seções IV.1 e IV.2).

Palavras-chave: Análise de Árvore de Falhas; *Service Tree Analysis* (análise de árvore de serviços); Processos de Serviços; *Web 2.0*; Inteligência Coletiva; Copa do Mundo FIFA 2014.

IV.1. INTRODUÇÃO

A análise de árvore de falhas (FTA, *Fault Tree Analysis* ou *Failure Tree Analysis*) é uma ferramenta muito importante para a análise de riscos e o gerenciamento da confiabilidade, e vem sendo fortemente aplicada em projetos, montagens, operação e manutenção de plantas industriais, suprimento, logística, entre outros (Lee *et al.*, 1985; Carpignano e Poucet, 1994). A utilização da FTA é predominante nos casos de alta severidade ou alto risco, em que a legislação obriga a realização de estudos de análise de risco, até mesmo porque o processo de desenvolvimento e construção de árvore de falhas é geralmente uma atividade complexa e que consome bastante tempo e dinheiro (Lee *et al.*, 1985).

Esta ferramenta tem sido fortemente aplicada desde a sua criação basicamente no ambiente industrial, possuindo forte ligação e interface com os setores de segurança das grandes indústrias. Isto ocorre pelo fato de que ao se aplicar uma FTA investigam-se de maneira exaustiva os modos e causas de falhas para um determinado sistema/ equipamento. Assim, quando estes sistemas são complexos e apresentam possíveis falhas catastróficas, a FTA acaba promovendo um maior controle e conseqüentemente promove uma maior segurança, tanto para o próprio item analisado quanto para o meio ambiente e para a vida humana (Alkhaledi *et al.*, 2015).

Esta análise pode ser utilizada na fase de concepção de um sistema/ equipamento/ serviço para identificar possíveis causas de falhas futuras, pode ser utilizada na fase de operação e para analisar uma falha que já ocorreu, exibindo esquematicamente como diferentes eventos ocorreram simultaneamente para causar a falha, permitindo o levantamento de lições aprendidas (IEC, 2006). Nessa aplicação da FT para a análise de falhas que já ocorreram, o foco não é investigar todas as possíveis falhas para o sistema, mas sim investigar as falhas que contribuíram para a ocorrência do evento topo em questão, permitindo assim o aprendizado de lições (Zhang *et al.*, 2014).

Apesar da aplicação da FTA ser ainda bastante restrita quando se trata de atividades com severidades menores, já existem estudos que indicam e recomendam a sua utilização

também em áreas com atividades de baixa ou moderada severidade, como, por exemplo, o setor terciário (prestação de serviços). Alguns autores que propuseram a utilização da FTA para os processos de prestação de serviços aplicaram diretamente esta ferramenta, em sua forma e abordagem clássicas, sem nenhuma adaptação, como por exemplo Carvalho e Scapin (2002). Por outro lado, Geum *et al.* (2009) apresentaram algumas adaptações para que a FTA fosse aplicada de maneira mais ampla e efetiva nos processos de serviços, denominando a nova abordagem de STA (*Service Tree Analysis*, análise de árvore de serviços). Embora esses autores comentem de forma positiva sobre a aplicabilidade e eficiência da abordagem STA, este tipo de aplicação ainda não é muito difundida e utilizada em larga escala, o que é reconhecido pelos próprios autores, que apontam não ser possível garantir a difusão da STA para todas as operações de serviços. De fato, a abordagem da STA centra-se em um dos tipos de operação de serviços, as operações de processamento de cliente (CPO, *Client Processing Operations*) (Geum *et al.*, 2009), que atuam sobre o cliente que entra no sistema, recebe algum tipo de tratamento do processo ou participa no processo. Portanto, ela pode não ser adequada para os outros tipos de operação de serviços, conforme proposto por Morris e Johnston (1987): operações de processamento de informação (IPO, *Information Processing Operations*); e operações de processamento de material (MPO, *Material Processing Operations*).

Independentemente da área de aplicação, a elaboração de uma FTA de maneira efetiva e satisfatória envolve dois princípios iniciais de alta relevância: i) a definição direta e objetiva do evento-topo que se deseja evitar; e ii) a delimitação do volume de controle que será abrangido pela aplicação da ferramenta. A observância destes dois princípios garante que o foco e a atenção sejam direcionados para o evento topo que realmente se deseja estudar, bem como evita que o produto da análise seja uma árvore extremamente ampla e com informações subjetivas, superficiais ou distantes do propósito (IEC, 2006). Após a definição do item (sistema/ equipamento/ serviço) que será representado em forma de árvore de falhas, bem como a delimitação do volume de controle e a identificação do evento topo, pode-se então desenvolver a FT em questão através de alguma das técnicas de construção.

Dado que as técnicas já conhecidas para a construção de FT apresentam uma alta concentração de esforço e investimento iniciais, o presente trabalho tem como objetivo propor uma nova abordagem para análise de árvore de falhas clássicas. Assim, é desenvolvida uma técnica de construção que possui esforços e investimentos mais diluídos no tempo e com foco

em expandir a aplicabilidade da FTA no setor terciário, buscando ainda contemplar benefícios para as análises que possuem grande influência da dinâmica e dos fatores humanos. A técnica de construção desenvolvida se apoia na colaboração de *multistakeholders* (multi-agentes-chave), fortalecendo a ideia trazida por Geum *et al.* (2009) de que o cliente deve ser visto como um coprodutor e deve ter um papel ativo nos processos de serviço. Desta forma, as perspectivas de participação do cliente seriam cada vez mais capturadas para processos de serviço. Com isso, o desenvolvimento da técnica visa reduzir dificuldades com as ferramentas analíticas e quantitativas, que são amplamente difundidas para o meio industrial, porém ainda limitadas para descrever sistematicamente os processos de serviço.

IV.2. TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE ÁRVORE DE FALHAS E MULTISTAKEHOLDERS

IV.2.1 Técnicas de Construção de Árvore de Falhas

O processo de construção e desenvolvimento de uma árvore de falhas é geralmente uma atividade complexa e que consome bastante tempo e dinheiro (Lee *et al.*, 1985). A principal técnica de construção é conhecida como “Análise Dedutiva” e foi desenvolvida por H. A. Watson em 1961-62 (Lee *et al.*, 1985). A mesma técnica de construção foi posteriormente citada e apresentada por outros autores (*e.g.*: Hixenbaugh, 1968; NASA, 2002; Peng *et al.*, 2016) e pela norma internacional para FTA, IEC 61025 (IEC, 2006), da comissão eletrotécnica internacional (*International Electrotechnical Commission*, IEC). Segundo Hixenbaugh (1968), o processo denominado de “Análise Dedutiva” possui seis etapas, sendo que as etapas de construção são as três primeiras:

1. Definição do evento indesejado (evento topo). Uma árvore de falhas é sempre orientada para um evento topo singular, ou seja, deve ser construída para apenas um evento indesejado. Provavelmente haverá vários eventos que possam ser considerados como evento topo, e desta forma uma árvore de falhas deve ser elaborada para cada um deles. Aconselha-se começar pela elaboração da árvore de falhas para o mais indesejado dentre os eventos topo identificados;
2. Entendimento do sistema. O objetivo desta etapa é determinar ou deduzir todas as combinações possíveis de como o sistema poderia falhar e causar o evento indesejado.

- Para analisar todo o sistema é necessária a formação daquilo que os diversos autores chamam de “*Fault Tree Team*” (comitê de árvore de falhas), ou seja, a formação de uma equipe de especialistas. Ainda sobre esta equipe, Hixenbaugh (1968) destaca que o grupo formado deve ser “um grupo diversificado de engenheiros e especialistas de diversas disciplinas”. Nesta etapa é realizado o *brainstorming* (tempestade de ideias);
3. Construção da estrutura da árvore de falhas. A árvore de falhas é construída relacionando corretamente todas as sequências possíveis de eventos que, quando ocorrem, resultam no evento indesejado. Começando com o mais indesejável evento (topo), a árvore de falhas representa graficamente os caminhos que levam a cada evento básico (fazendo o movimento *top-down*, de cima para baixo), passando por eventos intermediários. Entre cada evento deve-se alocar corretamente a porta lógica desejada. Haasl (1965) concebeu uma estrutura que estabelece indicadores para determinar o tipo de porta lógica que deve ser usada, através da análise das entradas para as portas, a fim de se evitar a escolha de uma porta lógica errada;
 4. Coleta de dados quantitativos. Deve ser determinada a probabilidade numérica de ocorrência dos eventos. Apresentam-se dois métodos para esta etapa: o primeiro método consiste da realização de testes com os pequenos componentes constituintes do sistema/ equipamento e posterior análise estatística a respeito dos sucessos e fracassos resultantes, e somente é viável para falhas de componentes pequenos, erros humanos ou limitações humanas; no segundo método a probabilidade é calculada a partir de variáveis históricas, dados do fabricante, *benchmarking* (comparação com padrões elevados), entre outros indicadores. Este último método é indicado para equipamentos e componente com um custo de aquisição mais elevado, o que não justifica a realização de testes destrutivos;
 5. Avaliação da probabilidade de ocorrência do evento escolhido no primeiro passo. É necessário determinar quais combinações de falhas são mais susceptíveis de causar o evento topo, ou seja, que caminhos de falha são dominantes. Além disso, deve-se determinar a probabilidade de ocorrência do evento topo através de cada um destes caminhos;
 6. Análise da saída com auxílio de ferramentas computacionais, que é uma etapa constante em todo o processo. As FT tendem a ser muito grandes, logo desenvolvê-las,

construí-las e avaliá-las sem o apoio de *softwares* (aplicativos computacionais) seria praticamente impossível.

Ainda a respeito da “Análise Dedutiva”, NASA (2002) apresenta a seguinte definição:

“A dedução constitui o raciocínio do geral para o específico. Na Análise Dedutiva, postula-se que o sistema falhou de certa maneira, então é feita uma tentativa para descobrir o que contribuiu para essa falha. Na linguagem comum esta abordagem pode ser referida como uma abordagem de "Sherlock Holmes". Holmes confronta provas e tem a tarefa de reconstruir os acontecimentos que levaram ao crime.”.

Outras técnicas de construção foram desenvolvidas a fim de otimizar este processo de análise dedutiva. Cada nova técnica visa aperfeiçoar o procedimento de construção de uma FT, principalmente trazendo códigos computacionais para apoiar o processo. Dentre as diversas técnicas desenvolvidas algumas ganharam maior destaque, sendo importante observar os seus fundamentos para nortear o desenvolvimento de novas abordagens.

Fussell (1972, 1973) iniciou a construção automatizada das FT através do “Modelo de Árvore Sintética” (*Synthetic Tree Model*, STM), desenvolvendo inicialmente um código de computador para sistemas elétricos. A ideia por trás do STM é a modelagem de uma pequena FT para cada dispositivo (componente) do sistema/ equipamento através da coleta de informações para cada um dos componentes. Desta forma, para cada componente do sistema é gerada o que o autor chama de função de transferência de falha. Depois, as funções de transferência para os vários componentes são combinadas e editadas para formar a FT final. Embora esse modelo tenha sido desenvolvido primeiramente para sistemas elétricos, o autor indica que a sua aplicação estende-se para a construção da árvore de falhas em outras áreas do conhecimento. Basicamente o mesmo método é proposto por Kelly e Lees (1986a, b, c, d), a construção do que os autores chamaram de *minitrees* (“mini-árvores”) para cada componente e a posterior junção dessas *minitrees*. Hollo e Taylor (1976) definem o processo de construção de uma FT como uma arte, além de uma ciência, já que se duas pessoas diferentes analisarem um sistema os resultados dificilmente serão os mesmos. As formas das FT sairiam diferentes, as terminologias utilizadas para descrever falhas sairiam diferentes, e geralmente os eventos-

falha incluídos nas FT também seriam diferentes. Isto mostra a real necessidade de se ter pessoas competentes engajadas na construção das árvores, porém o custo da hora-trabalho dos especialistas é bastante elevado. Há, portanto, a necessidade de desenvolvimento e utilização, ao menos em algumas etapas do processo, de técnicas que automatizem e simplifiquem a construção das FT, tanto do ponto de vista prático, para reduzir os custos, ou ao menos diluí-los ao longo do tempo, e padronizar os resultados, quanto do ponto de vista teórico, para compreender o processo de construção das árvores. A técnica apresentada por Hollo e Taylor (1976) é baseada naquela apresentada anteriormente por Fussell (1972, 1973). O incremento que os autores trazem é a utilização de um “Diagrama de Causa-Consequência” que descreve melhor as sequências ou cadeias dos componentes que foram analisados separadamente num primeiro momento.

Outra técnica foi proposta por Powers e Tompkins (1974), que desenvolveram um método de construção de árvores de falhas automatizadas para sistemas químicos. Eles propuseram a utilização de modelos de entrada e saída para descrever as relações de causa e efeito entre as variáveis locais e os eventos de falha para cada componente de um determinado sistema/ equipamento. Esta metodologia foi a primeira a representar o volume de controle subdividido em blocos para em seguida relacioná-los e combiná-los para formar a FT.

Salem *et al.* (1977) desenvolveram a CAT (*Computer Automated Tree*, árvore automatizada por computador), que é um programa de computador para modelagem de diversos sistemas através de “Tabelas de Decisão” e geração de análise de causa-efeito entre os eventos. As “Tabelas de Decisão” são utilizadas como componentes de modelagem e a árvore de falhas é construída através de uma aba de ferramentas, oferecida pelo programa, para a construção e edição de árvores de falhas de forma manual (utilizando os eventos-falha inseridos anteriormente pelo usuário para as “Tabelas de Decisão”). Por fim, os autores classificam a CAT como uma ferramenta para auxiliar o trabalho de construção da árvore de falhas, e não como substituta do trabalho cuidadoso do analista de árvore de falhas.

Lapp e Powers (1977) apresentaram um programa denominado de “Síntese de Árvore de Falhas” (*Fault Tree Synthesis*, STF). Este programa primeiro gera um gráfico direcionado (dígrafo, que é um conjunto de nós conectados por arestas dirigidas ou setas) para a representação do sistema/ equipamento em análise e, em seguida, usa um algoritmo de síntese para deduzir a FT do modelo gráfico gerado inicialmente. O dígrafo descreve as relações normais, de falha ou condicionadas que existem entre variáveis e eventos no sistema. Os nós

dos dígrafos representam variáveis de processo e certos tipos de falhas. Um número (-10 a 10) é atribuído a cada seta, dependendo da direção e magnitude da relação. Andrews e Morgan (1985) criticaram o método apresentado por Lapp e Powers (1977), apontando que de fato a construção a partir de dígrafos fornece um bom passo intermediário no processo de construção da árvore de falhas, porém quando se aplica a técnica de construção sugerida por Lapp e Powers (1977) é percebido que os algoritmos de construção devem ser cuidadosamente validados antes da sua utilização generalizada para converter dígrafos em FT.

Camarda *et al.* (1978) propuseram um algoritmo para a construção de FT a partir do gráfico de confiabilidade para sistemas de grande porte. Estes gráficos geralmente são muito mais fáceis de obter, porque os modos nos quais um item (sistema/ equipamento) físico pode operar são muito menores do que as formas em que ele pode falhar. O gráfico citado tem as seguintes características: i) os ramos do gráfico representam tanto componentes individuais quanto conjuntos deles, ou eventos necessários para o sucesso do sistema; ii) cada ramo pode ser unidirecional (se apenas um sentido, indicado por setas, é admitido para o fluxo de informação) ou bidirecional (caso contrário); iii) uma vez identificadas todas as formas que um componente pode operar, as falhas para cada ramo (componentes) serão todos os demais cenários que se puder identificar; iv) os nós representam conexões lógicas entre os ramos (relação entre os ramos, que posteriormente são convertidas em portas lógicas).

De Vries (1990) propôs a AFTGM (*Automated Fault Tree Generation Methodology*, metodologia automatizada para a geração de árvore de falhas) para aplicações em sistemas elétrico-eletrônicos, que é baseada em gráficos para determinar as estruturas funcionais do sistema a partir de algoritmos topológicos. A análise é dividida em etapas: i) localização e descrição detalhada do circuito tomado como evento topo; ii) representação deste circuito em forma de gráfico; iii) modelagem de cada componente do circuito, analisando todos os possíveis modos de funcionamento e de falha; iv) definição de condições de contorno; v) recomposição do sistema pela união gráfica dos sub-circuitos, os quais devem conter as portas lógicas em cada saída ou entrada.

Arcidiacono (2003) sugere uma técnica de construção para FT denominada de “*Comparative Fault Tree Analysis*” (análise comparativa de árvore de falhas). Este método consiste em primeiramente construir a FT baseada na Análise Dedutiva, porém, quando for necessário construir uma nova FT para outro sistema que seja semelhante ao primeiro, o autor indica a reutilização da primeira FT já construída, mas com adição de novos ramos,

respeitando as particularidades do segundo sistema. Em outras palavras, o “Sistema-2”, na Figura IV.1, tem alguns ramos semelhantes aos descritos no “Sistema-1” que já havia sido previamente estudado e teve sua FT construída pela Análise Dedutiva. Desta forma, para o “Sistema-2” apenas seriam criados (também por Análise Dedutiva) os novos ramos. Assim, a FT comparativa apenas calcula a taxa de falha (λ) dos “novos” ramos e para os ramos “em comum” são usados os mesmos valores numéricos presentes no “Sistema-1” que são comuns ao “Sistema-2”.

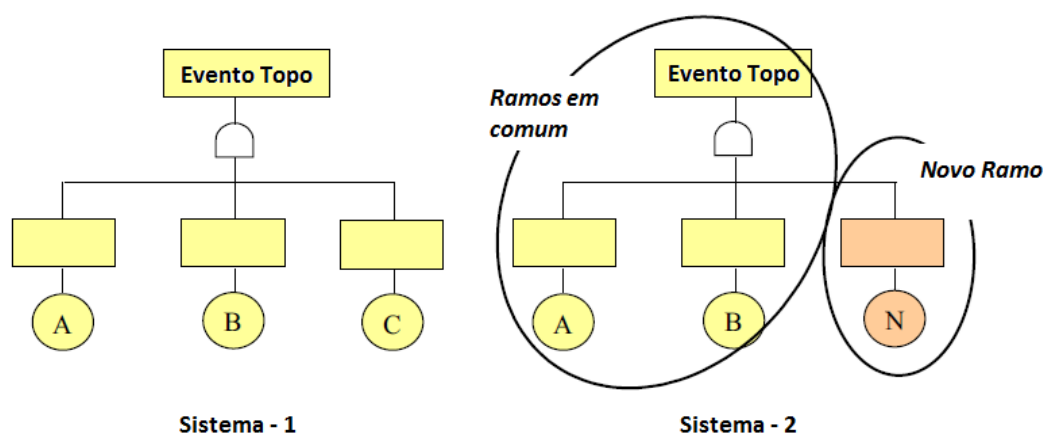


Figura IV.1. Construção da FT do Sistema-2 Utilizando as Informações Obtidas a partir da FT do Sistema-1 que já Existia Previamente (Arcidiacono, 2003).

Com base nas diversas técnicas de construção, a FTA tem como fundamento uma compreensão rigorosa do processo e da forma como ele é controlado, de maneira que os modos de falha de todos os componentes do processo deverão ser claramente identificados e os seus efeitos sobre o sistema claramente definidos. Esta fase requer que o analista de árvore de falhas assegure uma ligação com o engenheiro de projeto ou com os gestores a fim de obter um modelo preciso da planta ou do serviço. Desta forma, a utilização de códigos que automatizam a técnica, embora bastante útil, deve ser feita com cautela e o seu resultado deve ser analisado cuidadosamente. Além disso, considera-se que a principal vantagem da aplicação da ferramenta é o conhecimento adquirido sobre o funcionamento de um sistema ou processo. Isto é parcialmente perdido em uma abordagem totalmente computadorizada e automática, o que reforça a justificativa para a adoção de um procedimento misto, utilizando automação computacional e análise e crítica humanas.

IV.2.2 *Multistakeholders*

Com a dinâmica e a complexidade das organizações e do ambiente ao qual estão inseridas, houve a necessidade de se identificar, avaliar, estudar e gerenciar os atores envolvidos no processo gerencial e estratégico das organizações. Passou-se então a se referir a estes atores como *stakeholders* (partes interessadas). Em 1984, R. Edward Freeman lançou a obra “*Strategic Management: a Stakeholder Approach*”, considerada como o marco inicial do estudo dos *stakeholders*, o que garantiu a Freeman o título de “pai da teoria dos *stakeholders*”. Nesse trabalho, o termo *stakeholder* é definido como “qualquer grupo ou indivíduo, identificável, que possa afetar ou ser afetado pela consecução dos objetivos de uma organização” (Freeman, 1984).

O interesse pela teoria dos *Stakeholders* se enraizou no campo da gestão estratégica e em seguida se desenvolveu para dentro da teoria da organização e da ética empresarial. A teoria permitiu misturar questões sociais e gestão e entrou em destaque apenas em meados da década de 1990, devido à atenção que recebeu em uma edição especial da “*Academy of Management Review*” em 1995, e ganhou força no final dos anos 90 (Laplume *et al.*, 2008). Outro episódio relevante nesta área do conhecimento foi a publicação da 5ª edição do guia base para o gerenciamento de projetos, o PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*), em 2013. Nesta edição, o PMI (*Project Management Institute*, instituto de gerenciamento de projetos) deu uma importância muito grande para o estudo das partes interessadas, passando a classificar o gerenciamento dos *stakeholders* como uma das áreas de conhecimento do gerenciamento de projetos. Com isso o plano de gerenciamento de projeto passa a contemplar, ao invés de nove, dez áreas de conhecimento.

A partir do trabalho de Freeman, várias pesquisas têm sido propostas a fim de estudar o papel dos *stakeholders* nas organizações, classificá-los ou identificá-los utilizando algumas ferramentas. Primordialmente, a classificação dos *stakeholders* se deu em dois grandes grupos (Clarkson, 1995): os primários; e os secundários. Os *stakeholders* primários são aqueles que possuem interesses e perspectivas sobre as organizações e estão engajados nas ações da empresa, tais como: funcionários; acionistas; fornecedores; e clientes. Os *stakeholders* secundários influenciam de forma menos direta a sobrevivência da empresa, pois eles não possuem relações contratuais formais ou oficiais com a organização focal, tais como: governos; comunidade local; entre outros.

Posteriormente surgiu um dos modelos mais utilizados nesse processo que é aquele apresentado por Mitchell *et al.* (1997), sendo conhecido como Modelo de Saliência. Neste modelo os *stakeholders* são atores, internos ou externos, que afetam ou são afetados pela organização, na medida em que eles possuem pelo menos um dos três atributos, ou a combinação de mais de um destes: poder; legitimidade; e urgência. Atores que não possuem nenhum desses três atributos não são considerados *stakeholders*. Assim, um *stakeholder* que possui os três atributos é mais “saliente” do que aquele que possui dois, que, por sua vez, é mais saliente do que aquele que possui apenas um atributo. O atributo poder refere-se à posse ou à obtenção de recursos para impor a vontade do *stakeholder* à organização, enquanto que o atributo legitimidade é a percepção por parte do *stakeholder* de que as ações de uma entidade são desejáveis, próprias ou apropriadas dentro de um sistema de normas, valores, crenças e definições de uma sociedade. Por fim, para o atributo urgência deve-se considerar a sensibilidade de tempo (necessidade de velocidade na resposta da organização) e criticidade (importância do clamor ou do relacionamento da empresa com o *stakeholder* em questão). Com os três atributos surgem sete possíveis combinações para se classificar os *stakeholders*, como pode ser visto na Figura IV.2.

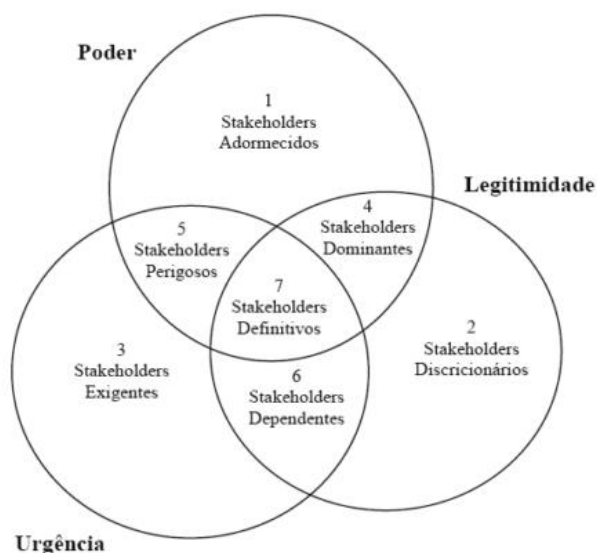


Figura IV.2. Modelo da Saliência [adaptado de Mitchell *et al.* (1997)].

Um outro modelo de identificação e classificação de *stakeholders* é o proposto por Savage *et al.* (1991). Segundo esses autores, o objetivo desse diagnóstico é satisfazer os

“*stakeholders-chave*” e, para isso, é necessário identificar quem são eles. Os autores definem as partes interessadas por seu interesse e capacidade de influenciar a organização. Portanto, Savage *et al.* (1991) classificam os *stakeholders* em quatro tipos: *stakeholder* disposto a apoiar (possui alto potencial em cooperar e baixo potencial em ameaçar); *stakeholder* marginal (não são nem tanto ameaçadores, nem tanto cooperadores); *stakeholders* indispostos a apoiar (possuem alto potencial em ameaçar, mas baixo potencial em cooperação); e *stakeholder* ambíguo (têm alto potencial em ameaçar e cooperar).

Ahmed *et al.* (2009) abordam o gerenciamento de *stakeholders* sob a perspectiva do gerenciamento de riscos. A gestão dos riscos de um projeto lida com as incertezas ao longo de toda a vida do projeto, e por isso requer uma abordagem estruturada. O objetivo dos processos relacionados com o risco é identificá-los com a maior brevidade possível para que haja tempo hábil para eliminar ou minimizar o impacto desses potenciais riscos negativos e tirar o máximo partido das oportunidades de melhoria (“riscos positivos”). A interação dos *stakeholders* com o gerenciamento dos riscos é viabilizada através de um plano de comunicação estratégico que permita que certas partes interessadas, estrategicamente selecionadas, alertem o gerente do projeto acerca de riscos potenciais (Ahmed *et al.*, 2009).

Nos últimos anos, após a solidificação mais concreta do conceito de *stakeholders*, uma abordagem mais abrangente ganhou destaque nos processos de tomada de decisão das organizações. Esta nova abordagem ocorre a partir do momento em que a quantidade de partes interessadas envolvidas se torna incontável (Mianabadi *et al.*, 2011). A principal vantagem desta abordagem mais ampla reside na sua capacidade de pedir esclarecimentos e confirmar evidências através da validação cruzada de dados de “múltiplos *stakeholders*”, ou simplesmente “*multistakeholders*” (Roloff, 2007; Laplume *et al.*, 2008). Assim, o enfoque agora ocorre no entorno de múltiplas partes interessadas ou multi-agentes-chave, devido à dinâmica e à complexidade das organizações e do ambiente no qual estão inseridas (Edmunds e Wollenberg, 2001).

A abordagem *multistakeholder*, também conhecida como redes de políticas públicas, começou a se desenvolver e a ser promovida como uma solução inovadora para os desafios da globalização econômica que recebeu inúmeras partes interessadas com o advento da globalização e com o aumento da rapidez nas comunicações (Reinicke e Deng, 2000). Além disso, a abordagem *multistakeholder* também possui um viés de participação democrática, visto que os indivíduos agora podem se colocar como parte interessada em algum processo

que tenham interesse (Roloff, 2008). Na participação *multistakeholder* existem múltiplos atores da sociedade civil, das empresas e de instituições governamentais. Eles contribuem para encontrar uma solução comum para um problema que afeta todos eles. Os problemas abordados por essas redes muitas vezes extrapolam até mesmo fronteiras sócio-econômicas, políticas e geográficas (Roloff, 2008). Nas abordagens *multistakeholders* a informação relativa a um problema é recolhida a partir de diferentes fontes, de forma que a aprendizagem ocorre a partir da confirmação ou não de eventos através da validação de informações oriundas de múltiplas partes interessadas (Roloff, 2007; Edmunds e Wollenberg, 2001).

Segundo Mianabadi *et al.* (2011), diferentes *multistakeholders* têm diferentes conhecimentos e experiências, de maneira que é possível atribuir uma taxa diferente de importância para diferentes *multistakeholders*. Estes diferentes pesos de poder podem ser atribuídos a: suas diferentes capacidades intelectuais; acessibilidades desiguais às fontes de informação disponíveis; situações sócio-econômicas e políticas diversas; entre outras. Em muitos casos, porém, essas diferenças não são consideradas e pesos iguais são atribuídos a todos os *multistakeholders*. Como no contexto *multistakeholder* a quantidade de partes interessadas é incontável, a classificação e atribuição de taxa de importância pode ser atribuída a uma classe de *multistakeholders*, e não necessariamente de forma individualizada como é feita para os *stakeholders*. Porém, o tipo de classificação utilizado pode ser o mesmo já difundido para a classificação dos *stakeholders* (Savage *et al.*, 1991; Clarkson, 1995; Mitchell *et al.*, 1997).

Edmunds e Wollenberg (2001) utilizam a participação *multistakeholder* para processos de negociação. Os autores argumentam que as negociações influenciadas pelo pensamento pluralista promovem melhores resultados para os grupos mais desfavorecidos. Já Zangnoli e Radicchi (2010) utilizam essa abordagem na área esportiva, promovendo a participação dos torcedores da Fiorentina (time do futebol italiano). Os autores indicam a participação dos torcedores não apenas como espectadores, mas como co-produtores do serviço desportivo, e para isso fazem a classificação deles em categorias (por idade) e atribuem taxas de importância por categoria para as suas influências.

Quando a ideologia colaborativa é voltada para processos de tomada de decisão, Miles (2013) destaca a importância de se estabelecer previamente um comitê, formando assim um corpo de *multistakeholders*. Desta forma, a ampliação da cultura de produção cooperada e compartilhamento de informações *online* (em linha), contida no paradigma da “Web 2.0”,

aumenta a viabilidade da participação dos *multistakeholders*. De acordo com O'Reilly (2005), Web 2.0 é o nome dado para uma nova geração de serviços *online*. Esse conceito é caracterizado por ter a *Web* (rede mundial de computadores) como plataforma e por visar o desenvolvimento de *softwares* aplicativos que aproveitem a rede para se tornarem melhores à medida que forem utilizados pelas pessoas, aproveitando o que o autor chama de “inteligência coletiva”. Complementando esse entendimento, a Web 2.0 é a segunda geração de serviços na rede, caracterizada por ampliar as formas de produção cooperada e compartilhamento de informações *online* (Markoff, 2006; Lassila e Hendler, 2007). Dentre os exemplos de serviços *online* que utilizam este paradigma contido no conceito da Web 2.0, O'Reilly (2005) cita o *Wikipedia*, o *Waze*, o *TripAdvisor* e diversos outros tipos de aplicativos que incluem avaliações sobre a qualidade dos serviços prestados por estabelecimentos (viagens, restaurantes, entre outros).

Um fator que corroborou com a difusão da Web 2.0 é o avanço do desenvolvimento das tecnologias de hardware (equipamentos de informática), software e de transmissão de dados. Isto proporciona cada vez mais o acesso à Internet (rede mundial de computadores) através de dispositivos portáteis como tablets (dispositivos eletrônicos pessoais em formato de prancheta), smartphones (celulares “inteligentes”) e outros. Este cenário dinamiza bastante a troca de informações entre usuários, de forma que é cada vez mais comum que as pessoas compartilhem suas opiniões e experiências a respeito de produtos e/ ou serviços (Markoff, 2006; Lassila e Hendler, 2007).

Considerando as possíveis situações em que os clientes da indústria participam da construção de suas FT, para que esta ferramenta possa se adaptar melhor aos processos de serviços é necessária a participação da sociedade consumidora do serviço a ser analisado, situação em que se justifica a utilização do conceito de *multistakeholders*. Portanto, a partir do contexto descrito, é imprescindível que uma maior participação dos colaboradores seja contemplada pelas adaptações de análise de árvore de falhas para os processos de serviços. Os colaboradores assumiriam a função de *stakeholders* através da utilização de aplicativos baseados na produção cooperada. A área de serviços possui ainda uma particularidade que a diferencia muito da indústria, que é o fato de que nela a quantidade de clientes diretos é muito maior do que na indústria, além do fato que, em geral, os clientes da área de serviços são pessoas físicas, enquanto na indústria eles são pessoas jurídicas. Desta forma, é mais fácil e natural que exista uma relação mais estreita, às vezes até personalizada, na forma, por

exemplo, de assistência técnica, entre a equipe de gestão da indústria e seus clientes, que muitas vezes são explicitamente tratados pela indústria como parte de seus *multistakeholders*.

IV.3. DESCRIÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

A abordagem proposta para análise de árvore de falhas se baseia na participação de *multistakeholders* e objetiva a melhoria da sua aplicabilidade para o setor terciário (processos de serviços). Nesta abordagem é realizada uma extensão das técnicas convencionais para a etapa de construção de árvore de falhas. A extensão proposta para construção de árvore de falhas se baseia no pressuposto que uma falha ocorre quando um item deixa de executar a sua função, e ela é classificada de acordo com os seus modos, causas, efeitos e mecanismos (Biolini, 1999). Portanto, para a abordagem aqui proposta será considerada como falha o não cumprimento de qualquer requisito imposto pela norma vigente que regulamente a prestação do serviço analisado ou o não atendimento à necessidade do cliente.

A aplicação da abordagem aqui proposta consiste basicamente em quatro etapas, cada uma delas com suas particularidades e sub-tarefas: i) planejamento; ii) construção da árvore teórica; iii) comunicação com os *multistakeholders*; iv) desenvolvimento da árvore colaborativa. Na primeira etapa ocorre a definição das premissas e pilares do processo de gestão de falhas. Na segunda ocorre a construção da árvore teórica com base em documentos normativos. Na terceira etapa é estabelecido um mecanismo de comunicação com os *multistakeholders* através da difusão de um formulário. Por fim, a quarta etapa é a conversão da árvore teórica em colaborativa, através do desmembramento dos ramos fundamentado pela coleta e análise dos registros gerados pelos *multistakeholders*.

IV.3.1 Planejamento

Inicialmente deve haver um alinhamento entre os gestores e os especialistas através da formação do tradicional comitê da árvore de falhas ou “*Fault Tree Team*” (Hixenbaugh, 1968; NASA, 2002; Miles, 2013). Os especialistas podem ser tanto internos ou externos à instituição, sendo fundamental a participação de algum especialista com conhecimentos sobre FTA. Entretanto os *stakeholders* do comitê, que possuem *expertise* (especialização, experiência, competência) na área analisada, e geralmente altas remunerações, exercerão apenas a função de moderadores e não participarão diretamente da construção da árvore de

falhas, como geralmente é feito nas técnicas tradicionais. Isto reduz as horas alocadas para estes especialistas e consequentemente os custos iniciais envolvidos na construção da FT.

O comitê formado estabelece as premissas para a construção da FT com base nas particularidades da instituição e do volume de controle a ser contemplado. Neste planejamento são utilizados os fundamentos do projeto de processo de colaboração estabelecidos por Miles (2013). Neste processo deve-se pré-estabelecer o grau de tomada de decisão colaborativa desejado, a quantidade de recursos que serão necessários e o período de tempo abrangido.

Durante o planejamento deve-se reunir toda a documentação necessária dentro do volume de controle estabelecido, tais como: (i) as normas ou leis vigentes que regulamentam o serviço em questão; (ii) o mapeamento das necessidades dos clientes; (iii) documentos internos da instituição, por exemplo organograma, procedimentos, entre outros; (iv) e demais documentos que sejam avaliados como importantes para a composição da árvore. Em consonância com a abordagem tradicional, os *stakeholders* do setor em questão devem ser representados pelos integrantes do comitê ou ao menos terem as suas necessidades contempladas pelos documentos coletados.

IV.3.2 Construção da Árvore Teórica

Nesta etapa o especialista em FTA possui duas alternativas de procedimentos para alcançar a FT Teórica específica da instituição. Uma possibilidade é inicialmente elaborar uma FT Referencial para cada documento coletado e em seguida, a partir das FT Referenciais, compor a FT Teórica específica da instituição. Esta possibilidade pode proporcionar ao especialista uma facilidade e agilidade maiores quando, por exemplo, for elaborar uma FT teórica para outra instituição da mesma área, pois já possuirá FT Referenciais produzidas para os documentos normativos da área em questão, podendo utilizar a técnica “*Comparative Fault Tree Analysis*”, proposta por Arcidiacono (2003).

Outra possibilidade para o especialista é analisar os documentos coletados e as demandas indicadas pelo *Fault Tree Team* e compor a FT Teórica da instituição de maneira direta, sem passar pelas FT Referenciais. Em ambos os caminhos o especialista deve ter como resultado a FT Teórica baseada nas orientações passadas pelo comitê e na negação dos requisitos especificados, conforme conceito de falha estabelecido anteriormente nas premissas do método.

Nessa etapa é importante salientar que a FT Teórica deve ter seus ramos desenvolvidos apenas até o limite em que os documentos de referência sejam exaustivos no detalhamento dos modos de falha. Isso deve ser observado porque na FT Teórica não cabem interpretações visando desmembrar os ramos que versam sobre temas abordados de maneira superficial ou através de exemplos ilustrativos. Esta é a principal diferença entre a técnica de construção tradicional de Análise Dedutiva e a extensão aqui proposta.

Apesar da etapa de construção da árvore teórica ser liderada pelo especialista em FTA, é papel do comitê aprovar a proposta da árvore desenvolvida, verificando se ela é aderente às premissas estabelecidas anteriormente. No caso de elaboração de FT Referenciais, o processo de aprovação deve ocorrer por etapas, sendo a última delas a aprovação da proposta final da FT Teórica.

IV.3.3 Comunicação com os *Multistakeholders*

Na terceira etapa é proposta a ampliação do potencial colaborativo do comitê de árvore de falhas através da expansão da participação de *stakeholders* para *multistakeholders*. Desta forma, o comitê deve planejar como ocorrerá a inserção dos *multistakeholders* na nova abordagem. O gerenciamento dos *stakeholders* no âmbito da gestão de projetos (PMBOK, 2013) pode servir de inspiração ao planejamento da inserção dos *multistakeholders*. De maneira geral, este planejamento deve contemplar a identificação, o engajamento e o controle do envolvimento.

Planejar a comunicação a ser estabelecida com os *multistakeholders* com base nas premissas da Web 2.0 ajuda a viabilizar esta participação. Desta forma, um formulário de registros, tendo a *web* como base, deve ser elaborado e oferecido aos *multistakeholders*. O comitê deve identificar quais partes da FT Teórica serão disponibilizadas aos *multistakeholders* como opções do formulário de registros de ocorrências, bem como divulgá-lo amplamente. Neste momento, é preciso respeitar o grau de tomada de decisão desejado e o prazo máximo para registros estabelecidos anteriormente. Para os temas que as normas abordam de maneira superficial ou apenas com exemplos ilustrativos, recomenda-se que eles sejam contemplados no formulário como opção de registro. Assim, o desenvolvimento destes temas deve ocorrer apenas se os *multistakeholders* registrarem ocorrências a respeito deles.

IV.3.4 Desenvolvimento da Árvore Colaborativa

A quarta etapa consiste de três sub-tarefas: i) coletar as ocorrências registradas pelos *multistakeholders* e tratá-las e organizá-las em Banco de Dados; ii) acionar os eventos da FT Teórica a partir dos registros, criando assim novos eventos e transformando a FT Teórica em uma FT Colaborativa; iii) validar as versões da FT Colaborativa que vão evoluindo dinamicamente.

A coleta e o tratamento dos dados são de responsabilidade da instituição que os executará de acordo com as premissas estabelecidas pelo comitê. Para esta função deve ser alocado um funcionário com *expertise* no processo, podendo ser o próprio especialista em FTA, caso este faça parte do corpo da instituição. Deve-se garantir a identificação dos casos onde mais de um *multistakeholder* tenham realizado registros de uma mesma ocorrência, visto que esses múltiplos registros se referem a um mesmo evento ocorrido, e eles devem ser tratados adequadamente a fim de constarem no banco de dados de forma coerente. Essa percepção múltipla pode também ser levada em consideração no processo de decisão, aumentando a importância do evento com o aumento de seus registros, sendo utilizada, por exemplo, como critério para o desmembramento ou não de um ramo da FT colaborativa.

Após o tratamento de dados, o especialista em FTA desenvolve os ramos da árvore a partir do banco de dados gerado e dos critérios estabelecidos pelo comitê. Desta forma, a FT teórica é expandida em uma FT colaborativa. Este processo ocorre múltiplas vezes, gerando novas versões da FT colaborativa com o passar do tempo, ou seja, resulta em uma FT colaborativa dinâmica.

Cada versão da FT colaborativa deve ser validada pelo comitê, sendo necessária também a verificação de possível necessidade de atualização do formulário de registros e dos critérios estabelecidos como premissas. As versões da FT e suas validações podem ter marcos de frequência tanto baseados pelo volume de registros quanto por intervalos de tempo pré-definidos. Estes critérios devem ser definidos pela própria instituição de acordo com suas necessidades, particularidades e plano estratégico financeiro.

IV.4. BENEFÍCIOS DA ABORDAGEM PROPOSTA

A nova abordagem apresenta alguns potenciais benefícios: no aspecto legal, em relação à regulamentação; na gestão do processo; e no âmbito teórico da análise de árvore de falhas.

Em relação às normas regulamentadoras, a abordagem oferece a obtenção de uma descrição mais visual da norma que regulamenta o serviço em questão, facilitando o entendimento dos requisitos como um todo. Além disso, existe a possibilidade de se praticar enxertos de mais de uma norma em uma mesma FT, ampliando sua capacidade de ser dinâmica. Por fim, abordagem também proporciona o acompanhamento da evolução dos documentos normativos que regulamentam o serviço prestado, com a identificação do cenário de tendências da entidade reguladora.

Quanto aos benefícios para a gestão do processo, é promovida uma maior aproximação do cliente através da ampliação da sua participação e resultando no fortalecimento da relação instituição-cliente. Desta forma, podem ser estabelecidos fundamentos para uma tomada de decisão direcionada a satisfazer as necessidades dos clientes. O histórico gerado pelos registros dos *multistakeholders* possibilita ainda que a tomada de decisão também seja fundamentada por uma análise quantitativa.

No âmbito teórico da análise de árvore de falhas, com a nova abordagem é promovido um aperfeiçoamento na análise de árvore de serviços (STA). São identificadas também potenciais contribuições para a análise de árvore de falhas dinâmicas (DFTA) e para a área de confiabilidade humana.

IV.4.1 Aperfeiçoamentos da STA



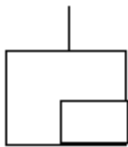
A STA é uma ferramenta composta por quatro etapas: i) construção da árvore de serviços através da Análise Dedutiva; ii) análise qualitativa; iii) análise quantitativa; e iv) gestão do processo de serviços. Para aperfeiçoar a STA, a primeira etapa pode ter a “Análise Dedutiva” sendo substituída pelo método proposto neste trabalho, enquanto as etapas de análises quantitativa e qualitativa são mantidas conforme proposto por Geum *et al.* (2009). A quarta etapa da STA, denominada de “Gestão do Processo de Serviços”, é uma etapa gerencial e consiste em avaliar os resultados fornecidos pela STA e definir estratégias e tomadas de decisão voltadas para a melhoria do processo de serviços em questão. A técnica de construção proposta neste trabalho pode oferecer aos gestores todos os potenciais benefícios citados anteriormente, como por exemplo o acompanhamento da evolução, enriquecendo assim a gestão dos serviços. Os fundamentos da abordagem proposta viabilizam ainda uma diluição temporal dos custos do processo de construção de uma FT.

IV.4.2 Contribuições para a DFTA

A FTA clássica é uma ferramenta estática, de modo que todas as avaliações e conclusões resultantes desta análise retratam um momento específico. Nesse contexto a FTA clássica não deve ser utilizada quando se necessita analisar falhas em tempo real, por exemplo quando existem mudanças de estado em plantas industriais (Čepin e Mavko, 2001). Diversos autores, como Manian *et al.* (1998), Čepin e Mavko (2001), NASA (2002), IEC (2006), Simões Filho (2006), Rao *et al.* (2009), Chiacchio *et al.* (2011), Manno *et al.* (2012) e Peng *et al.* (2016), indicam a utilização da cadeia de Markov e da simulação de Monte Carlo para a análise de árvores de falhas dinâmicas (*Dynamic Fault Tree Analysis*, DFTA).

A DFTA estende a FTA tradicional, definindo portas adicionais, chamadas de “Portas Dinâmicas” (Tabela IV.1), para modelar essas interações complexas. Para DFTA menores as cadeias de Markov são usadas na solução do cálculo de probabilidade de ocorrência do evento topo (Figura IV.3). No entanto, DFTA mais robustas tornam-se demasiadamente grandes para o cálculo com modelos de Markov, quando o número de entradas e saídas das portas aumenta (Rao *et al.*, 2009). Para contornar esta dificuldade, estes autores indicam a utilização da simulação de Monte Carlo.

Tabela IV.1. Portas Dinâmicas [adaptado de IEC (2006)]

Nome	Descrição	Quantidade de Eventos de Entrada
<i>Priority AND gate</i> (PAND) 	O evento de saída (falha) ocorre apenas se todos os eventos de entrada ocorrerem em sequência, da esquerda para direita.	≥ 2
<i>Sequential gate</i> (SEQ) 	O evento de saída ocorre apenas se todos os eventos de entrada ocorrerem em sequência, da esquerda para a direita, e se existirem mais do que dois eventos de entrada. Esta porta é uma alternativa para a porta PAND acima.	>2
<i>Spare gate</i> (SPARE) 	O evento de saída ocorre se o número de peças sobressalentes (em espera) for menor do que o número necessário.	≥ 1

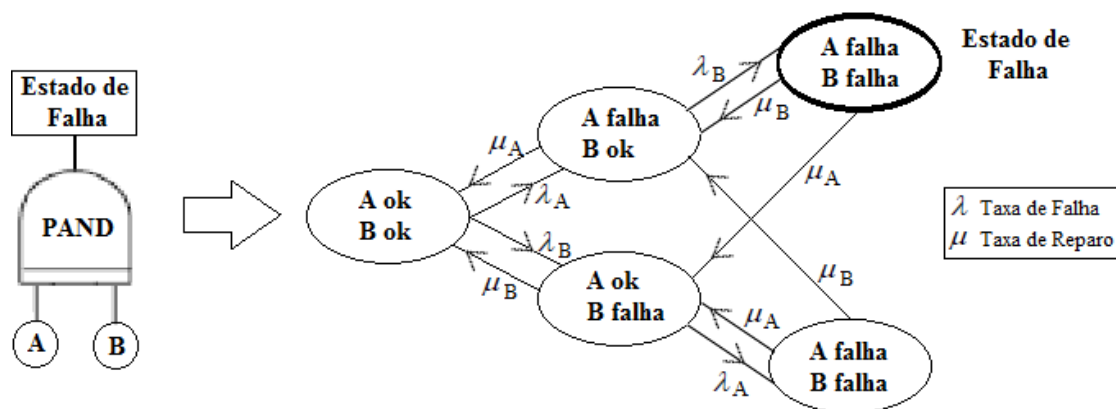


Figura IV.3. Exemplo de Conversão de uma DFTA (com Porta PAND) para uma Cadeia de Markov [adaptado de Rao *et al.* (2009)].

A simulação de Monte Carlo para avaliar árvores de falhas dinâmicas é uma alternativa atraente, pois permite a modelagem não apenas de modelos determinísticos (valores fixos),

mas também a consideração de uma distribuição probabilística de falhas no tempo (Manian *et al.*, 1998). Ela é uma análise que executa computacionalmente inúmeras combinações de simulações variadas escolhidas de forma aleatória com base nas distribuições probabilísticas inseridas (Lewis e Böhm, 1984). A principal desvantagem desta simulação são os longos tempos de simulação necessários para conseguir uma alta precisão (Manian *et al.*, 1998).

A contribuição que o método proposto oferece para a DFTA com ambas as técnicas (cadeias de Markov e simulações de Monte Carlo) é o fato de que com a evolução dos requisitos certos eventos são acrescentados ou excluídos da FTA teórica, fazendo com que esta análise possa passar a ser dinâmica também em outro sentido: com a adição ou remoção de termos ou parcelas que a compõem a cadeia de Markov ou a simulação de Monte Carlo, por exemplo a partir do momento que certos requisitos são criados ou excluídos das normas. Ou seja, a árvore torna-se dinâmica, ou adaptativa ou evolutiva, não apenas em relação aos seus parâmetros, mas também em relação à sua estrutura.

Os itens que podem ser adicionados na árvore não se restringem apenas aos novos requisitos que podem ser criados pela norma principal. É possível também a realização de enxertos na FTA teórica com eventos baseados em requisitos de outras normas complementares, tornando a árvore mais completa e abrangente. E, além disso, é interessante também que o formulário de registros que é ofertado aos usuários possua uma opção aberta, não estruturada (do tipo “Outros”), para que o usuário possa registrar ocorrências que a norma não cita, mas que aos olhos dele sejam vistas como falhas. Desta forma, pode-se enxertar também estes novos eventos indicados pelos *multistakeholders*.

IV.4.3 Contribuições para a Confiabilidade Humana

Muitos sistemas de engenharia estão interligados por *links* (ligações) humanos e na maioria das situações a relação humana é inevitável, independentemente do grau de automação (Tillman *et al.*, 1988). Desta forma, a avaliação da confiabilidade de sistemas de engenharia seria incompleta se possibilidades de ocorrência de erro humano fossem ignoradas. Ao longo dos anos essa percepção levou a uma intensa pesquisa e investigação sobre o efeito real e potencial de erros humanos sobre a segurança dos sistemas de engenharia. Assim, a Confiabilidade Humana é uma área que estuda e avalia falhas e comportamentos humanos (Kirwan, 1992; Dhillon e Yang, 1994; Boring *et al.*, 2010).

A participação humana tem maior potencial de afetar a confiabilidade na prestação de

um serviço do que em um processo ou equipamento industrial. Isso se deve ao fato de que o comportamento humano e suas influências estão muito mais presentes na prestação de um serviço do que na operação de um equipamento ou processo industrial. Desta forma, o acompanhamento da evolução de uma FT para equipamentos/ processos industriais pode ser uma ação mais espaçada no tempo, visto que a questão temporal de mudanças de requisitos não é tão comum. A evolução da FT neste caso ocorre mais para um ajuste fino ou para uma mudança de arranjo físico. Já para a prestação de serviços os requisitos e/ ou necessidades dos clientes mudam de maneira mais frequente, e em cada mudança de cenário se faz necessária a elaboração de uma nova FT. Deste modo, uma técnica de construção de FT menos intensiva em trabalho do que o método convencional, como o método aqui proposto, é importante para que se possa atualizar a FT com uma maior frequência, como requer o setor de prestação de serviços, onde a influência humana é muito grande (aumentando a sua dinamicidade em relação ao que é comumente feito na indústria).

Portanto, já que a técnica proposta é menos intensiva em trabalho do que a técnica convencional, ela se torna mais relevante para sistemas que possuem uma maior dinâmica de mudança de cenários. Assim, já que a parcela humana é dinâmica, o novo método possui potencial de aderência para atividades nas quais, por terem uma maior participação humana, a Confiabilidade Humana é importante, a exemplo do setor de serviços. Desta forma, a utilização deste método tem potencial para contribuir nas linhas de estudos de pesquisadores da área de Confiabilidade Humana.

IV.5. APLICAÇÃO E RESULTADOS

De acordo com o regimento interno da FIFA, o principal objetivo da entidade é a melhoria constante do futebol (FIFA, 2015), e para isso é periodicamente publicado um documento que estabelece normas e requisitos para se alcançar conformidade e padrão no evento “Copa do Mundo”. Este documento, que contempla também a implantação e a regulamentação dos avanços tecnológicos e dos avanços no próprio futebol, é intitulado “Recomendações e Requisitos Técnicos para Estádios de Futebol” e alcançou a sua quinta edição no ano de 2011 (FIFA, 2011). Essa edição foi utilizada no Brasil para construção e reforma dos estádios usados na Copa do Mundo FIFA Brasil 2014.

IV.5.1 Planejamento

A abordagem aqui proposta foi aplicada na Copa do Mundo FIFA Brasil 2014, tendo o Ministério do Esporte Brasileiro como instituição proponente e representado pelo Governo do Estado da Bahia / SECOPA (Secretaria Estadual para Assuntos da Copa do Mundo da FIFA Brasil 2014).

O alinhamento entre os gestores e a equipe ocorreu através da formação do comitê responsável pela aplicação do método e durante a realização do projeto foram promovidos 4 (quatro) seminários para apresentar e discutir os seus resultados. Além disso, houve oficinas promovidas pela SECOPA e reuniões convocadas pelo Ministério do Esporte para tratar do tema. Além do proponente, o comitê também contou com pesquisadores da UFBA (Universidade Federal da Bahia) que possuem experiência nesta área. O grupo de pesquisa participante do comitê também tem experiência em desenvolvimento tecnológico e científico nas áreas de RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability, Safety* - confiabilidade, disponibilidade, manutenção, segurança) e de incerteza.

Ainda na etapa de planejamento foram analisados diversos documentos e normas, dentre os quais se destacam: as cinco edições do *Football Stadiums - Technical Recommendations and Requirements* (Estádios de Futebol – Recomendações Técnicas e Requisitos) (FIFA, 1994, 1995, 2000, 2007, 2011); o Estatuto de Defesa do Torcedor (Brasil, 2003); regulamentos das competições sob responsabilidade da *Confederación Sudamericana de Fútbol* (Conmebol) (CONMEBOL, 2014), da Confederação Brasileira de Futebol (CBF) (CBF, 2014) e da Federação Baiana de Futebol (FBF) (FBF, 2014); Lei Geral da Copa (Brasil, 2012); Plano Diretor da Copa do Governo do Estado da Bahia (Bahia, 2010a); Contrato de parceria público privada na modalidade de concessão administrativa para reconstrução e operação do Estádio Octávio Mangabeira ("Estádio da Fonte Nova") (Bahia, 2010b).

O comitê estabeleceu como volume de controle a edição vigente (quinta edição) dos requisitos da FIFA - *Football Stadiums - Technical Recommendations and Requirements* (FIFA, 2011), que regulamenta estádios de futebol destinados a sediar jogos da Copa do Mundo FIFA. O volume de controle do período de tempo desta aplicação foi estabelecido entre a fase de pré-construção das arenas e a data da final da Copa do Mundo (13/07/2014).

IV.5.2 Construção da Árvore Teórica

A FT teórica (Figura IV.4) foi desenvolvida com base na norma vigente que regulamenta estádios de futebol destinados a sediar jogos da Copa do Mundo FIFA (FIFA, 2011). A construção da FT teórica seguiu a estrutura de simbologia apresentada por Rausand (2004) e foi desenvolvida de maneira direta, sem a elaboração de FT Referenciais.

A FT teórica (Figura IV.4) apresenta como evento topo (nível 1) o seguinte evento: “Falha em Arenas Multiuso segundo Recomendações e Exigências Técnicas da FIFA (5ª Edição)” e sem seguida estão os eventos de nível 2, dando início ao desenvolvimento da árvore. Já os eventos do nível 3 estão identificados com losangos, indicando que não são eventos básicos (que seriam representados por círculos) e sim que são eventos que possuem especificações mais detalhadas. A FT teórica tem seus eventos marcados em branco, para diferenciá-los dos futuros eventos que surgirão na FT colaborativa, e possui destaque (negrito) nas bordas para os eventos que compuseram o formulário de registros que foi ofertado aos usuários (*multistakeholders*).

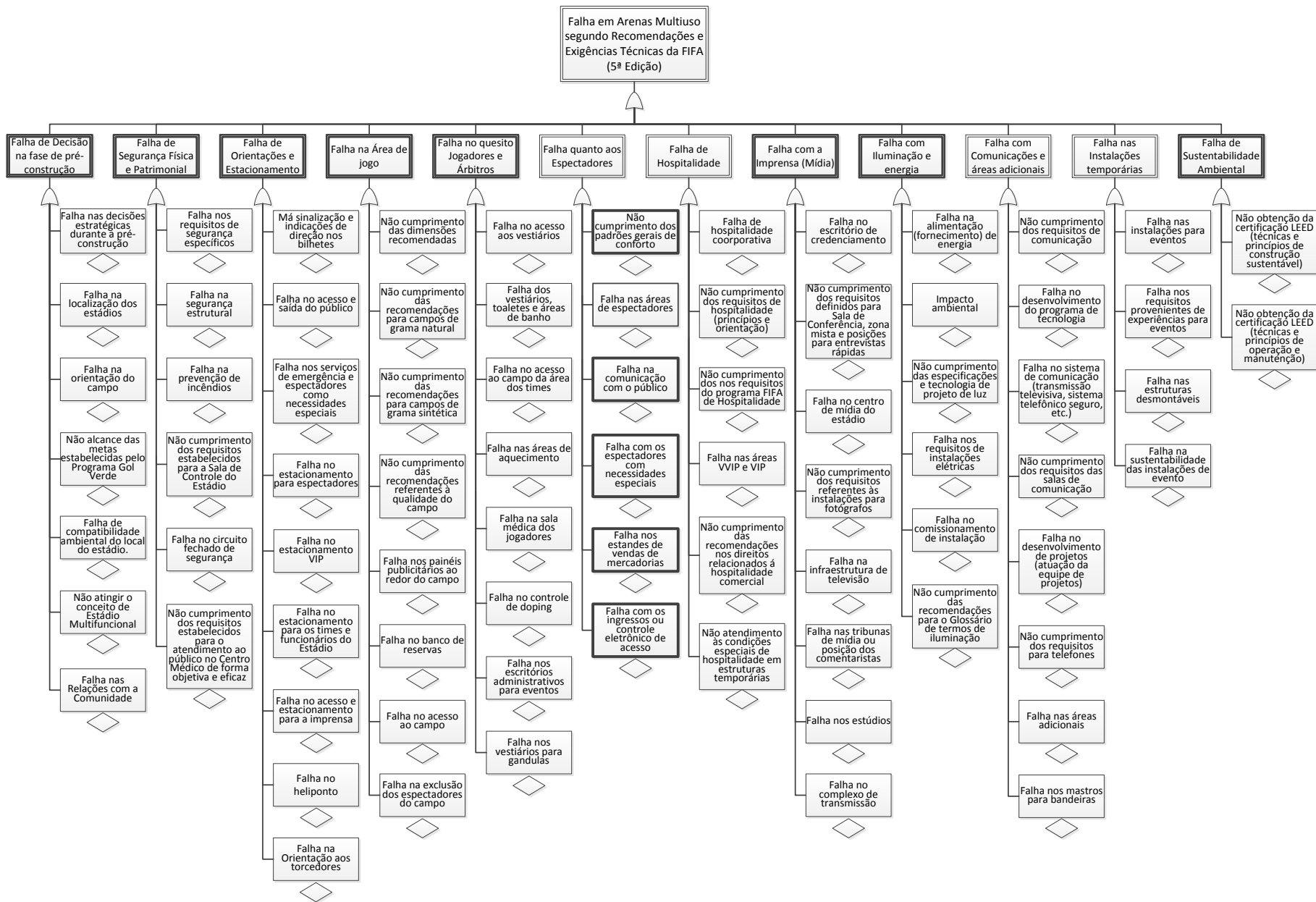


Figura IV.4. FT Teórica para Estádios de Futebol para a Copa do Mundo FIFA 2014 - 5ª Edição.

Vale ressaltar que os requisitos relacionados à sustentabilidade ambiental são indicados pela FIFA dentro do item referente ao “Programa Gol Verde” (situado no nível 3, abaixo do item de “Falhas de Decisão na Fase de Pré-Construção”). Porém, para a elaboração do formulário, este item ganhou destaque e foi alocado no nível 2 devido à importância deste tema no cenário atual. A FIFA, inclusive, recomenda expressamente a necessidade da obtenção da certificação LEED (*Leadership in Energy Efficient Design*, liderança em projeto de energia eficiente) por parte das arenas, tanto para construção quanto para operação e manutenção. Esta é uma das grandes mudanças nos requisitos da quarta (FIFA, 2007) para a quinta (FIFA, 2011) edição das “Recomendações e Requisitos Técnicos para Estádios de Futebol”.

IV.5.3 Comunicação com os *Multistakeholders*

A comunicação com os *multistakeholders* para que as ocorrências de falhas fossem registradas ocorreu através de um formulário (Apêndice IV.A) que foi disponibilizado a eles através do aplicativo “Arena SQuaRe” (SQuaRe em referência às palavras segurança, qualidade e confiabilidade em língua inglesa: *Safety*, *QUALity* e *REliability*), ferramenta desenvolvida pelo grupo responsável por esse projeto de pesquisa. Para esta aplicação, não foram atribuídos graus de importância diferentes para os diferentes *multistakeholders*.

O “Arena SQuaRe” disponibiliza a ferramenta de registros “RSQuaRe” (aplicativo disponibilizado para *smartphones* e versão *Web*) que proporciona facilidades no monitoramento de ocorrências, onde o usuário pode registrar as não conformidades percebidas e os dados registrados são armazenados e tratados, formando um banco de dados para monitoramento e gerenciamento (SQuaRe, 2014; Amaro *et al.*, 2016a, b). O monitoramento e o gerenciamento podem ser feitos por outras duas ferramentas também oferecidas pelo “Arena SQuaRe”, o “MSQuaRe” e o “GSQuaRe” respectivamente. A ferramenta de monitoramento “MSQuaRe” apresenta as estatísticas e indicadores relacionados ao serviço e à manutenção das arenas e estádios, e o “GSQuaRe” possibilita ao usuário o gerenciamento das ocorrências (SQuaRe, 2014). Algumas das páginas do processo de registro de falhas no aplicativo RSQuaRe estão apresentadas na Figura IV.5.

The figure displays two screenshots of the RSQuaRe registration form. The left screenshot shows a list of arenas with icons and names: Arena Corinthians, Arena Fonte Nova, Arena Pantanal, Arena Pernambuco, Arena da Amazônia, and Arena da Baixada. The right screenshot shows the 'Registro de Ocorrência' form for 'Arena Fonte Nova', with a section titled 'Local da Ocorrência' containing a list of radio button options: Acesso à região da Arena, Aplicativos SQuaRe, Arenas Multiuso, Assento, Avaliação e discussão, Banheiros, Bilheterias e Entradas, Bug, problema ou Imperfeição, Campo de jogo, and Em toda a Arena.

Figura IV.5. Exemplos de Páginas do Formulário de Registros do “RSQuaRe”.

Após o desenvolvimento da FT teórica e do aplicativo de registro houve a panfletagem/divulgação da ferramenta “RSQuaRe” para que os registros de ocorrência fossem gerados pelos usuários (clientes), tanto com a utilização do aplicativo para *smartphones* quanto com a utilização da versão *Web*. Os itens com as bordas destacadas na Figura IV.5 foram aqueles ofertados aos usuários no formulário de registros (Apêndice IV.A). A título de ilustração, a tela apresentada ao usuário para a coleta de informações referentes ao local da ocorrência e à fonte de informação pode ser vista na Figura IV.6.

Registro de Ocorrência


Local da ocorrência

- Acesso à região da Arena
- Área de Imprensa
- Área VIP
- Bilheteiras e Entradas
- Campo de jogo
- Estacionamento
- Instalações para jogadores e árbitros
- Outros
- Zona Leste
- Zona Norte
- Zona Oeste
- Zona Sul

Fonte de Informação *

- Estou/Estive presente no momento da ocorrência
- Li na internet
- Li na mídia impressa
- Soube por alguém que esteve presente
- Vi/ouvi no(a) TV/rádio

Imagem para referência



*Imagem meramente ilustrativa

Figura IV.6. Tela Apresentada ao Usuário para a Coleta de Informações Referentes ao Local e à Fonte de Informação da Ocorrência da Falha.

Os eventos selecionados para o formulário de registros foram aqueles do nível 2 da FT, com exceção de: “Falha quanto aos Espectadores”; “Falha de Hospitalidade”; “Falha com Comunicações e Áreas Adicionais” e “Falha nas Instalações Temporárias”. O primeiro evento não foi diretamente contemplado no formulário, porém os seus sub-eventos (nível 3) foram, pelo fato deles serem diretamente ligados ao consumidor, ou seja, mais perceptíveis. Já os demais não compuseram o formulário por se tratarem de eventos quase imperceptíveis ao consumidor (cliente), tais como: as recomendações de hospitalidade para os patrocinadores ou grandes personalidades; requisitos mais técnicos em relação às montagens de instalações temporárias; requisitos para comunicação (transmissão televisiva, rádios, entre outros); requisitos para áreas adicionais, às quais o cliente não tem acesso; entre outros.

Com a delimitação do volume de controle pré-estabelecida para este trabalho (registros oriundos de notícias da mídia/ imprensa e registros feitos pelos usuários, desde a fase de pré-construção das arenas até o jogo da final da Copa em 13/07/2014), o resultado obtido foi de 174 registros de ocorrências de não-conformidades (elencados por categoria na Tabela IV.2).

Dentre os eventos com os maiores números de ocorrências registradas destacam-se: “Não Cumprimento dos Padrões Gerais de Conforto” (com 38 ocorrências); “Falha de Segurança Física e Patrimonial” (com 30 ocorrências); “Falhas de Decisão na Fase de Pré-Construção” (com 25 ocorrências); e “Falha nos Estandes de Vendas de Mercadorias” (com 20 ocorrências). O primeiro evento foi bastante acionado pelo fato de serem os requisitos que mais são perceptíveis ao cliente/ consumidor, tais como: assentos quebrados ou danificados; sinal de *Internet* ausente ou deficiente; visão do campo de jogo ruim; ofuscamento causado pelo sol; banheiros sujos ou danificados; entre outros. Os registros relacionados a este item confirmam o acerto de terem sido considerados no formulário os eventos de nível 3 relacionados a “Falha quanto aos Espectadores”. Já o item referente à segurança foi amplamente registrado devido às ocorrências de invasão de campo, invasão de arenas (por exemplo, invasão do Maracanã por torcedores chilenos sem ingressos), agressões, furtos, entre outras. O terceiro evento foi bastante acionado pelas inúmeras ocorrências na fase de pré-construção ou reforma das arenas, tais como: acidentes do trabalho; acidentes com morte de operários; atraso na entrega de obras; superfaturamento. Por fim, o quarto item com maior número de registros foi referente aos estandes de venda de mercadorias e foi motivado, entre outros, por: filas; atendimento ruim; qualidade deficiente dos produtos ou alimentos vendidos; prática de preços abusivos.

Tabela IV.2. Opções de Registro do Formulário e a sua respectiva Quantidade

Categorias do Formulário	Quantidade	Ranking		Quantidade
Pré Construção	25	1°	Conforto	38
Segurança Física e Patrimonial	30	2°	Segurança Física e Patrimonial	30
Orientação e Estacionamento	15	3°	Pré Construção	25
Área de Jogo	11	4°	Venda de Alimentos e Mercadorias	20
Jogadores e Árbitros	2	5°	Ingressos	15
Conforto	38	6°	Orientação e Estacionamento	15
Comunicação com o Público	8	7°	Área de Jogo	11
Necessidades Especiais	2	8°	Comunicação com o Público	8
Venda de Alimentos e Mercadorias	20	9°	Imprensa	5
Ingressos	15	10°	Iluminação e Energia	3
Imprensa	5	11°	Necessidades Especiais	2
Iluminação e Energia	3	12°	Jogadores e Árbitros	2
Sustentabilidade Ambiental	0	13°	Sustentabilidade Ambiental	0
Total	174	Total		174

IV.5.4 Desenvolvimento da Árvore Colaborativa

Após o tratamento do banco de dados, os registros de ocorrências foram representados na FT, gerando a FT colaborativa, pois seus eventos foram acionados a partir da colaboração de *multistakeholders*, apresentada na Figura IV.7. A FT colaborativa possui, marcados em cinza claro, os eventos que foram acionados e fazem parte da FT teórica, enquanto os novos eventos criados a partir da inteligência colaborativa estão marcados em cinza escuro. Na FT colaborativa é utilizada a simbologia “Transferência para”, representada pelos triângulos. A porta lógica “Transferência para” indica que a Árvore foi interrompida naquele ponto e que ela é desenvolvida na porta “Transferência de” correspondente, em outro documento. Ou seja, a porta “Transferência de” indica que a porção da árvore abaixo dela deve ser conectada ao portão “Transferência para” da Árvore Principal. Para facilitar a aplicação desta porta lógica, tanto a porta “Transferência de” quanto a porta “Transferência para” devem ser identificadas com um algarismo ou código (Rausand, 2004; IEC, 2006). Cada porta lógica “Transferência para” é desenvolvida nas Figuras IV.8 a IV.16, que têm seus eventos marcados em cinza escuro, pois, conforme colocado anteriormente, estes eventos foram originados dos registros dos *multistakeholders*, ou seja, representam a parte colaborativa da FT e não mais a sua parte teórica.

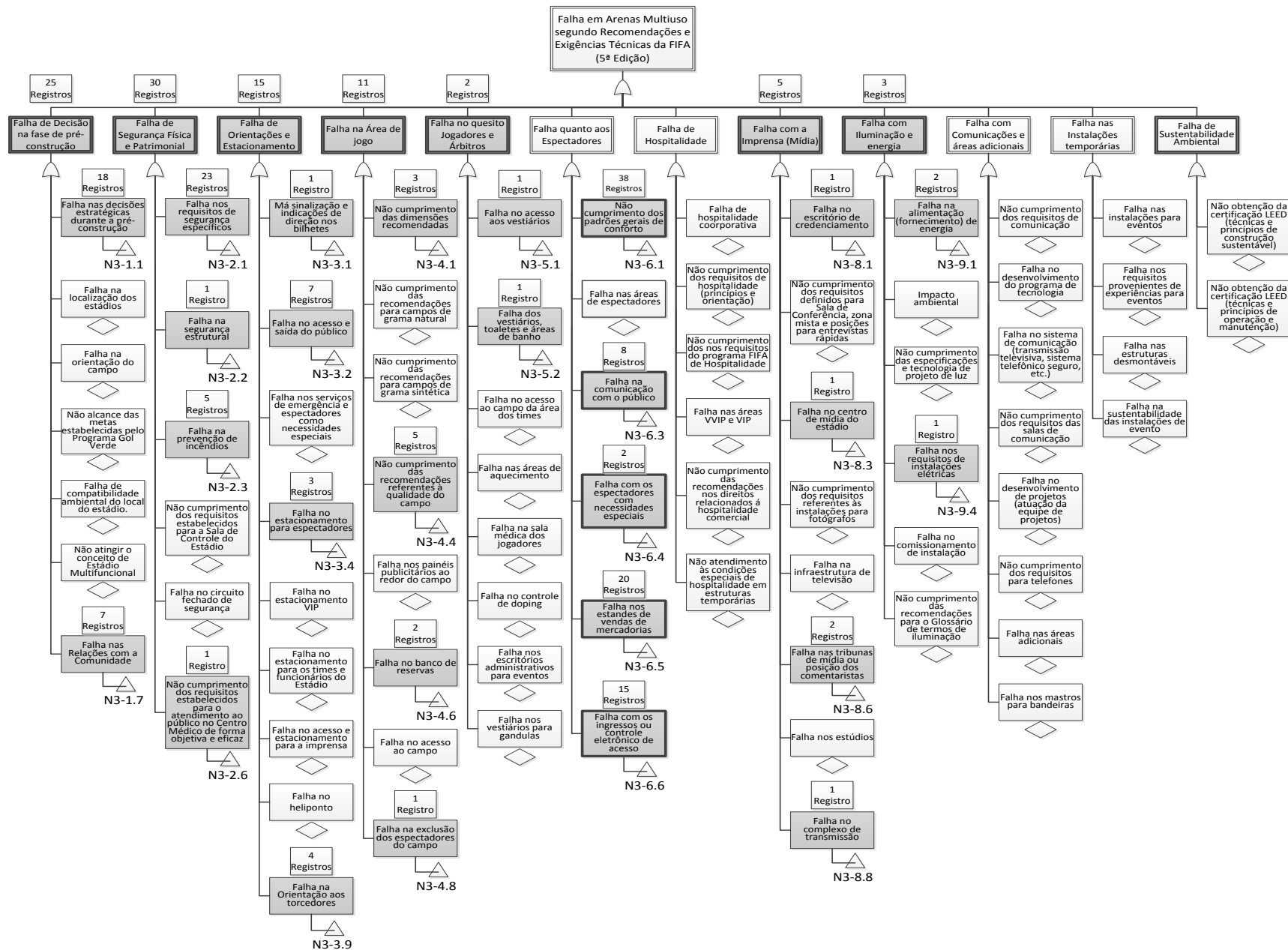


Figura IV.7. FT Colaborativa: Em Cinza Claro Eventos da FT Teórica que Foram Acionados - “Transferência para” nos Eventos Desmembrados de Forma Colaborativa.

No ramo referente à “Falha de Decisão na Fase de Pré-Construção” a parte colaborativa foi desenvolvida apenas para os modos que obtiveram registro: “Falha nas Decisões Estratégicas durante a Pré-Construção”; e “Falha nas Relações com a Comunidade”. O detalhamento gráfico destes ramos indicados com as portas “Transferência de” N3-1.1 e N3-1.7 está representado na Figura IV.8.

Os eventos da FT colaborativa de uma maneira geral foram abertos em diferentes ramos até o nível onde ocorre a diferenciação da natureza das falhas de acordo com as descrições dos registros. Desta forma, a FT Colaborativa parou de se desenvolver no ponto em que os registros representam a mesma natureza de ocorrência, não sendo mais possível desmembrá-los a partir das informações disponíveis. Isto ocorreu independentemente da quantidade de registros. Por exemplo, em alguns casos o crescimento dos ramos parou em eventos com um registro (Figura IV.8b, por exemplo), em outros casos parou com mais de um registro (Figura IV.8a, por exemplo), desde que eles possuam a mesma natureza de ocorrência, não sendo mais possível o desmembramento a partir das informações disponíveis.

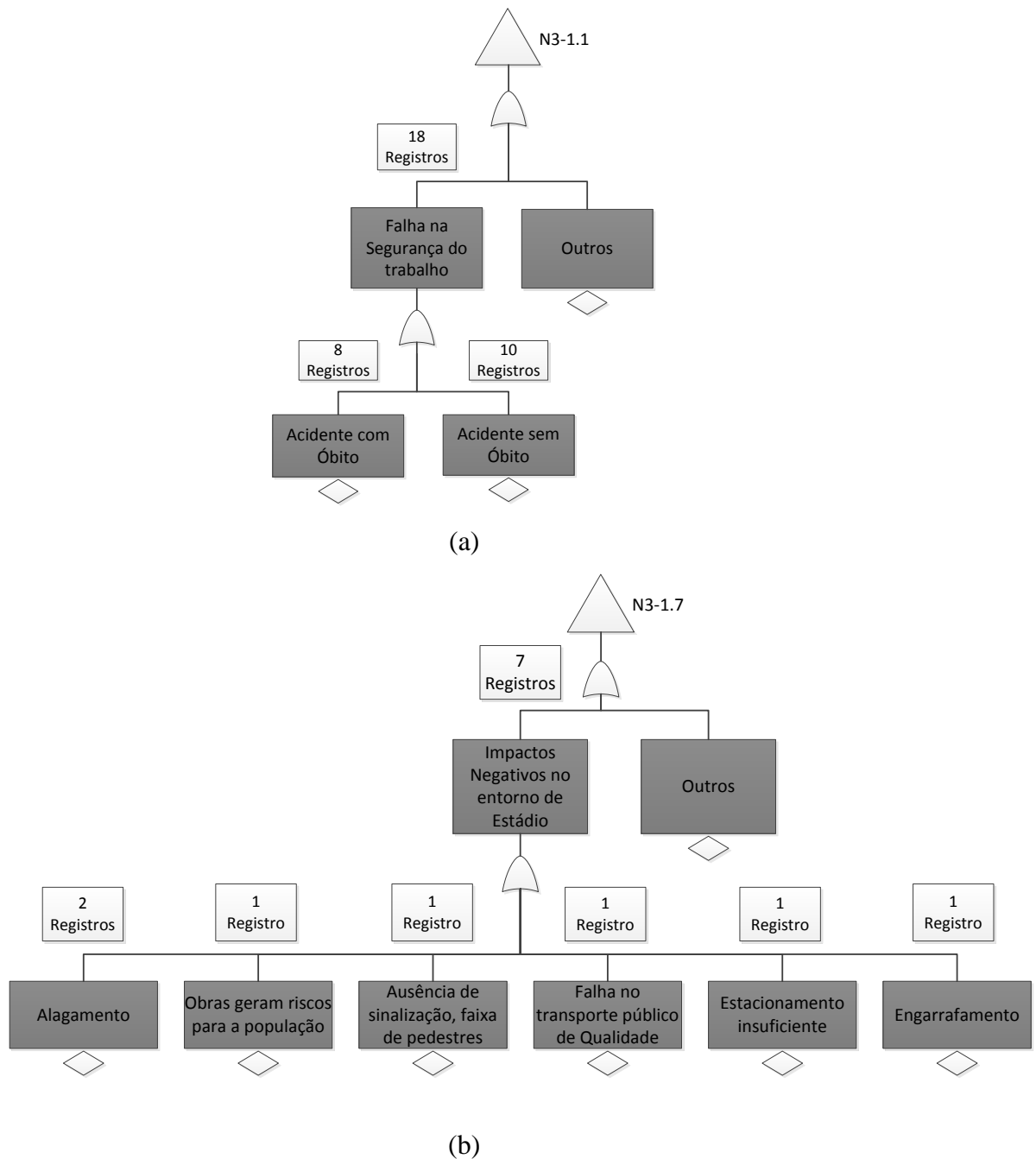


Figura IV.8. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de Eventos: (a) “Falha nas Decisões Estratégicas Durante a Pré-Construção”; (b) “Falha nas Relações com a Comunidade”.

A porção colaborativa para os eventos indicados com as portas “Transferência de” N3-2.1, N3-2.2, N3-2.3 e N3-2.6 está representada na Figura IV.9. Outro aspecto importante sobre o desmembramento da FT colaborativa como um todo é o fato de que em alguns casos é possível abrir mais um nível para eventos que possuam apenas um registro, aproveitando as

informações contidas no registro (por exemplo, Figura IV.9b). Ressalta-se também a adição do evento “Outros”, que é importante quando não se é exaustivo na análise dos possíveis modos de falha. Na descrição dos eventos que possuem poucos registros, particularmente no caso de apenas um registro, é possível ser genérico ou mais específico. Caso seja feita uma descrição mais específica, com a evolução da colaboração o texto descritivo pode ser modificado para contemplar eventos semelhantes.

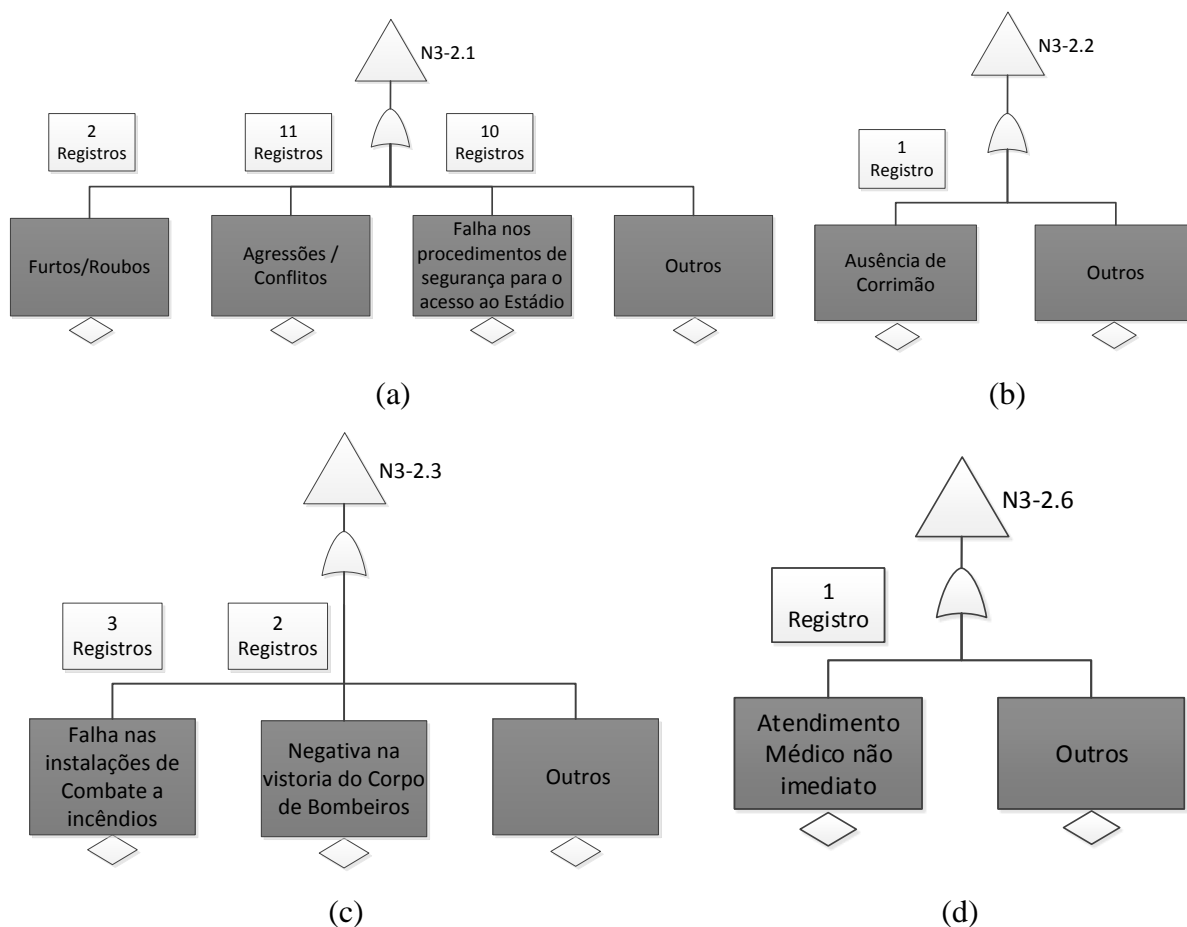


Figura IV.9. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de Eventos: (a) “Falha nos Requisitos de Segurança Específicos”; (b) “Falha na Segurança Estrutural”; (c) “Falha na Prevenção de Incêndios”; (d) “Não Cumprimento dos Requisitos Estabelecidos para o Atendimento ao Público no Centro Médico de Forma Objetiva e Eficaz”.

A parte colaborativa para os eventos indicados com as portas “Transferência de” N3-3.1, N3-3.2, N3-3.4 e N3-3.9 está representada na Figura IV.10. É importante comentar o cenário em que um evento advindo da árvore teórica possui mais de um registro, mas todos

eles são da mesma natureza. Nesse caso o evento da árvore teórica teve mais um nível aberto para aproveitar a especificidade da informação repetida nos registros, o que é exemplificado na Figura IV.10b com o novo evento “Filas”.

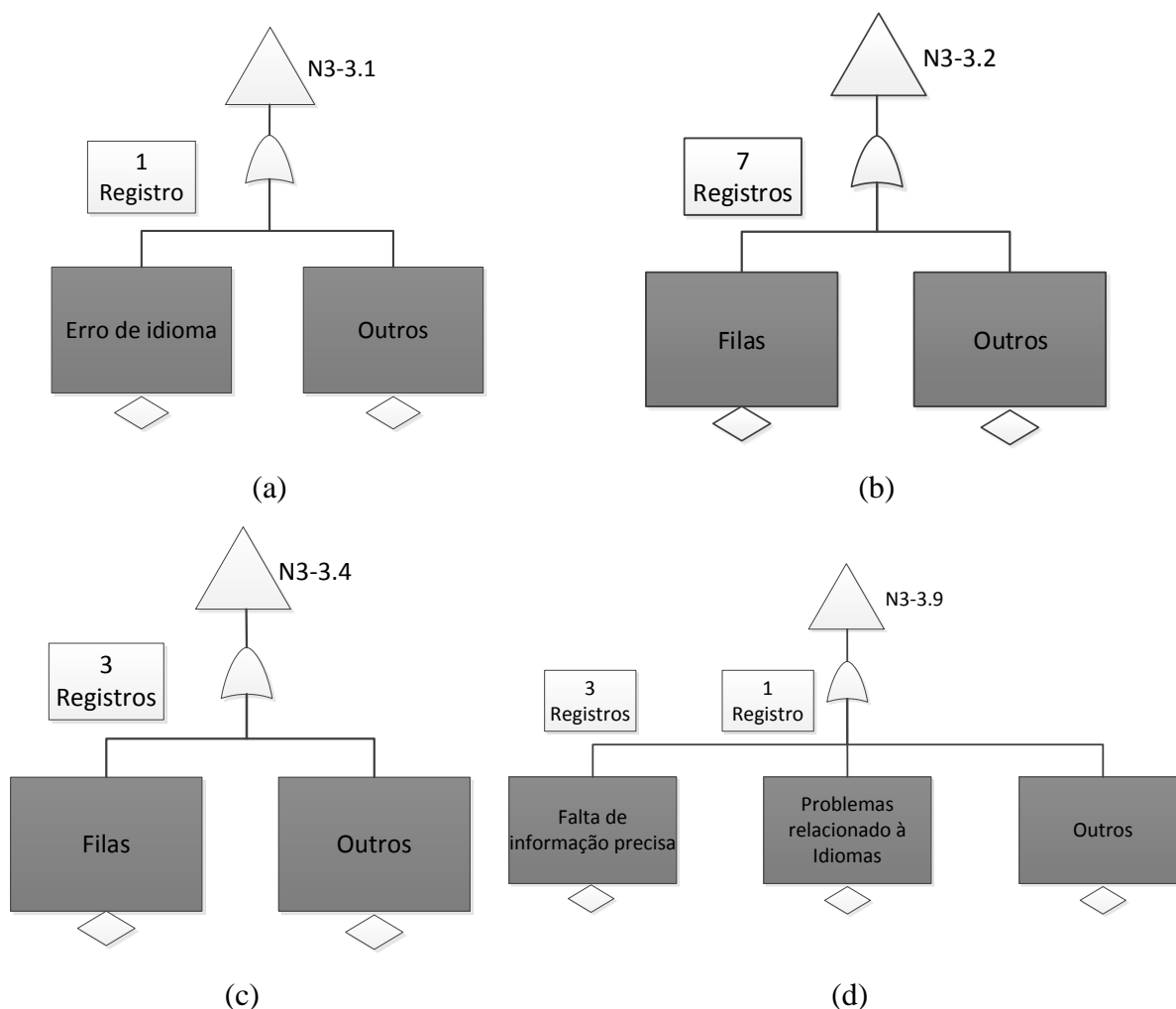


Figura IV.10. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de Eventos: (a) “Sinalização e Indicações de Direção nos Bilhetes Ruim”; (b) “Falha no Acesso e Saída do Público”; (c) “Falha no Estacionamento para Espectadores”; (d) “Falha na Orientação aos Torcedores”.

A parte colaborativa para os eventos indicados com a porta “Transferência de” N3-6.1 está representada na Figura IV.11. O desmembramento do evento “Não Cumprimento dos Padrões Gerais de Conforto” (Figura IV.11) foi o caso que teve o maior número de registros. Desta forma, mesmo tendo sido adotada a mesma lógica dos desmembramentos anteriores, a

visualização deste desmembramento é a mais rica em detalhes devido ao elevado número de registros com diversas naturezas. Foi possível desmembrar este evento em cinco eventos de diferentes naturezas. Dentre estes cinco novos eventos, alguns deles ainda foram desmembrados em uma grande quantidade de novos eventos, como, por exemplo, os desmembramentos dos eventos “Falha nos assentos” e “Falha nos sanitários”, que resultaram em cinco novos eventos para cada um deles.

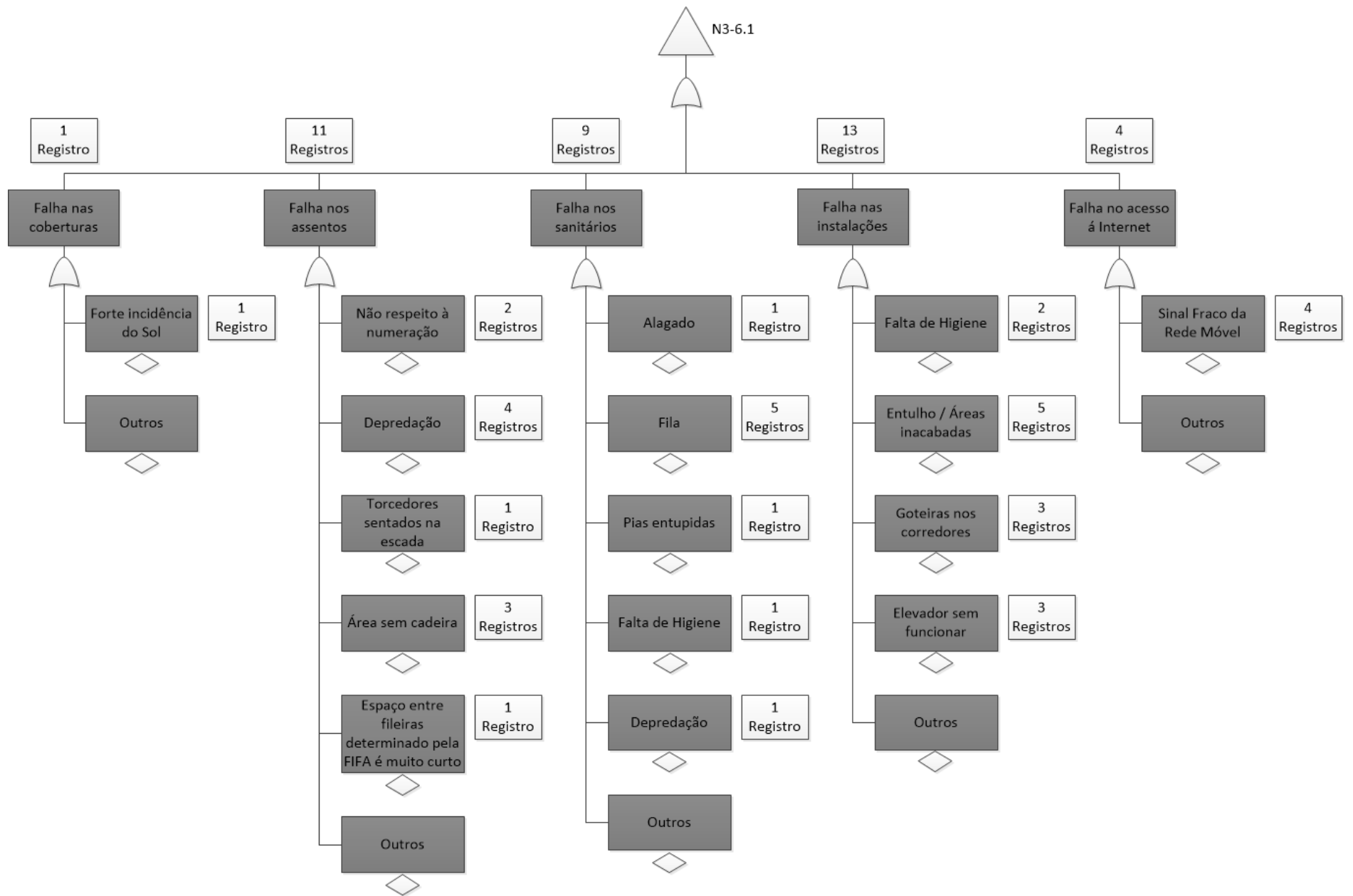


Figura IV.11. FT Colaborativa - “Transferência de” do Evento “Não Cumprimento dos Padrões Gerais de Conforto” e seu Desmembramento.

A parte colaborativa para os eventos indicados com as portas “Transferência de” N3-8.1, N3-8.3, N3-8.6 e N3-8.8 está representada na Figura IV.12. Aqui é interessante comentar que alguns eventos tiveram uma descrição muito detalhada pelo fato de o registro ter relatado um acontecimento muito específico e detalhista como, por exemplo, o evento “Credenciadores Dando Preferência aos Funcionários de Imprensa Estrangeiros. Mesmo quando Era a Vez dos Brasileiros”, mostrado na Figura IV.12a. Porém, nesses casos, é possível que posteriormente a descrição desse evento seja alterada a partir da ocorrência de outros registros situados no mesmo evento da FT, porém com natureza diferente.

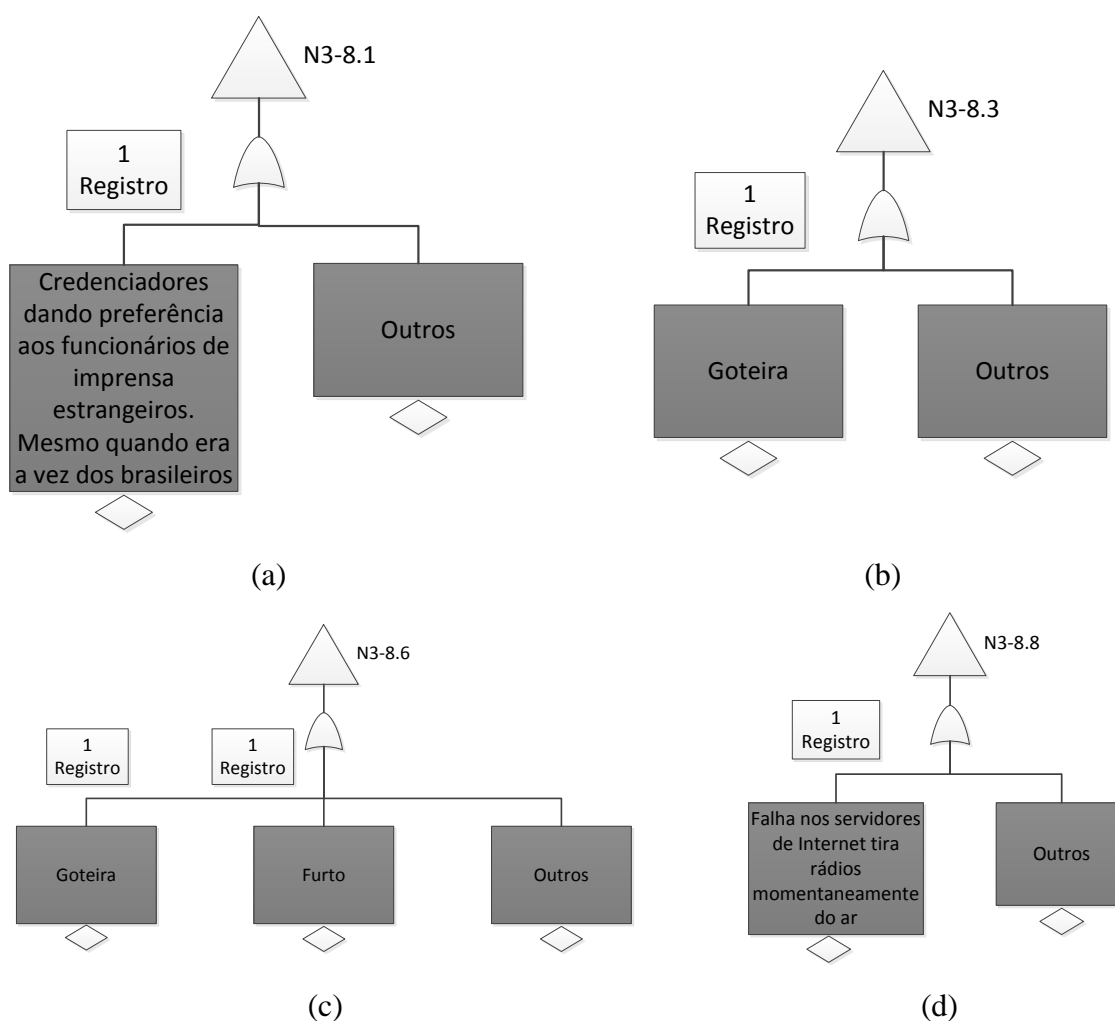


Figura IV.12. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de Eventos: (a) “Falha no Escritório de Credenciamento”; (b) “Falha no Centro de Mídia do Estádio”; (c) “Falha nas Tribunas de Mídia ou Posição dos Comentaristas”; (d) “Falha no Complexo de Transmissão”.

Assim, a FT colaborativa desenvolvida neste trabalho é composta pela Figura IV.7 juntamente com os desdobramentos mostrados nas Figuras IV.8 a IV.16 (as Figuras IV.13 a IV.16 que complementam os resultados da árvore colaborativa são mostradas no Apêndice IV.B). Ao se comparar as duas FT (teórica e colaborativa) pode-se identificar quais eventos ocorreram com maior e menor frequência, ou seja, quais requisitos foram cumpridos ou não. Esta esquematização lógica dos requisitos não-conformes e o número de ocorrências de cada um deles deve fundamentar tomadas de decisão e gerar planos de ação corretivos e preventivos. Além, disso, é possível criar uma nova simbologia para identificar os eventos que surgiram na FT colaborativa. Porém, é preciso que esta simbologia seja coerente, mas inédita, para que não haja repetição de simbologia já existente e divulgada pela norma que versa sobre Análise de Árvore de Falhas, a IEC 61025 (IEC, 2006).

IV.6. CONCLUSÃO

A técnica de construção de FT (*Fault Tree*, árvore de falhas) apresentada neste trabalho se mostrou viável com a ampla participação de *multistakeholders* (multi-agentes-chave), reforçando a tendência de se utilizar ao máximo a inteligência coletiva. Este método pode impactar algumas áreas do campo da confiabilidade e análise de riscos: pode viabilizar uma melhoria na STA (*Service Tree Analysis*, análise de árvore de serviços); colabora com a análise de árvore de falhas dinâmica (*Dynamic Fault Tree Analysis*, DFTA), na medida em que a árvore pode ser continuamente adaptada ao longo do tempo; e ainda traz benefícios para a confiabilidade humana, já que o comportamento humano e suas influências estão muito mais presentes na prestação de serviços do que no desempenho de um equipamento ou processo industrial.

A técnica proposta é baseada na ideia de se construir uma FT teórica a partir dos requisitos vigentes que regulamentem o evento topo. Baseado no contexto da sociedade atual, em que cada vez mais as pessoas estão participando das redes sociais, expondo pontos de vista e opiniões (paradigma da inteligência coletiva da *Web 2.0*), a FT teórica passa a ter seus eventos acionados através de ocorrências de falhas registradas por *multistakeholders*. Parte destes *multistakeholders* é composta pelos consumidores finais, que têm aumentado as suas exigências com relação à segurança das pessoas e dos patrimônios, à qualidade dos serviços prestados e à preservação do meio ambiente. Desta forma, as empresas prestadoras de

serviços precisam conhecer muito bem as leis e normas que regulamentam o serviço que prestam, bem como as necessidades extrínsecas e intrínsecas dos seus clientes, para que possam melhorar a qualidade dos seus serviços e, conseqüentemente, agradar e fidelizar o consumidor.

Portanto, com a participação de *multistakeholders* a aplicação da STA se torna melhor adaptada. Esta participação ampla dos *multistakeholders* se torna viável com a utilização de formulários de registros colaborativos, em conformidade com diretrizes da *Web 2.0*. Desta forma, a empresa prestadora de serviço que deseje aplicar esta metodologia deve disponibilizar uma página na *Internet* (rede mundial de computadores) e/ ou um aplicativo para *smartphones* (celulares “inteligentes”) ou *tablets* (dispositivos pessoais em formato de prancheta) que possibilitem ao usuário registrar a ocorrência de falhas.

Dentre os potenciais benefícios gerais desta técnica de construção é possível destacar: potencial de redução de custos no processo de construção da FT, já que os especialistas (tradicionalmente alocados como *stakeholders*), que geralmente são pessoas que possuem *expertise* (especialização, experiência, competência) na área analisada e elevadas remunerações, ficam alocados apenas na função de moderadores, economizando as horas de trabalho por eles despendidas; melhor viabilização da aplicação desta ferramenta para empresas prestadoras de serviços; aproximação dos consumidores; fundamentos para tomadas de decisão mais direcionadas a satisfazer as necessidades dos clientes; possibilidade de se praticar enxertos de mais de uma norma na FT; e acompanhamento da evolução dos documentos normativos com a identificação do cenário de tendências da entidade reguladora do serviço em questão. Além disso, a empresa prestadora de serviço poderá usufruir de todos os benefícios que uma FTA (*Fault Tree Analysis*, análise de árvore de falhas) clássica oferece: desde a obtenção de uma descrição mais visual da norma que regulamenta o serviço em questão, facilitando o entendimento dos requisitos como um todo, até a possibilidade de realização de análises quantitativas partindo do histórico gerado pelos registros. Por fim, é importante destacar que, caso se ofereça um item aberto, não estruturado (do tipo “Outros”), no *software* de registro, pode-se obter informações valiosas a respeito de itens que a norma vigente não aborda, mas que os clientes podem enxergar como falha.

NOTAÇÃO

Abreviaturas

AFTGM	<i>Automated Fault Tree Generation Methodology</i> - metodologia automatizada para a geração de árvores de falhas;
CAT	<i>Computer Automated Tree</i> - árvore automatizada por computador;
CBF	Confederação Brasileira de Futebol;
CONMEBOL	<i>Confederación Sudamericana de Fútbol</i> - Confederação Sul-Americana de Futebol;
DFTA	<i>Dynamic Fault Tree Analysis</i> - análise de árvore de falhas dinâmica;
FBF	Federação Baiana de Futebol;
FIFA	<i>Fédération Internationale de Football Association</i> - Federação Internacional de Futebol;
FT	<i>Fault Tree</i> - árvore de falhas;
FTA	<i>Fault Tree Analysis/Failure Tree Analysis</i> - análise de árvore de falhas;
GSQuaRe	Ferramenta de Gerenciamento do aplicativo “Arena SQuaRe”;
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> - Comissão Eletrotécnica Internacional;
LEED	<i>Leadership in Energy Efficient Design</i> - liderança em projeto de energia eficiente;
MSQuaRe	Ferramenta de Monitoramento aplicativo “Arena SQuaRe”;
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> - Administração Nacional Americana de Aeronáutica e Espaço;
PAND	<i>Priority AND gate</i> - porta “E” prioritário;
RAMS	<i>Reliability, Availability, Maintainability, Safety</i> - confiabilidade, disponibilidade, manutenção, segurança;
RSQuaRe	Ferramenta de Registro aplicativo “Arena SQuaRe”;
SEQ	<i>SEquential gate</i> - porta seqüencial;
SPARE	<i>SPARE gate</i> - porta sobressalente;
SQuaRe	<i>Safety, Quality and Reliability</i> - segurança, qualidade e confiabilidade;
STA	<i>Service Tree Analysis</i> - análise de árvore de serviços;
STF	<i>Fault Tree Synthesis</i> - síntese da árvore de falhas;

STM *Synthetic Tree Model* - modelo de árvore sintética.

Símbolos Gregos

Λ Taxa de Falha;
 μ Taxa de Reparo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, S., Bakhsheshi, A. Improving Risk Management in Projects: Stakeholder Management in Perspective of Risk Management - A Case Study in StatoilHydro. NTNU - Norwegian University of Science and Technology. Master Thesis, 2009

Alkhaledi, K., Alrushaid, S., Almansouri, J., Alrashed, A. Using fault tree analysis in the Al-Ahmadi town gas leak incidents. *Safety Science*, 79, 184-192, 2015.

Amaro, C. A., Sartori, I., Embiruçu, M., Martins, M. A. F., Kalid, R., Soares, W. Arena Square Web. Patente: Programa de Computador. Número do registro: BR512016000567-0, data de registro: 21/06/2016, título: "Arena Square Web", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. 2016a.

Amaro, C. A., Sartori, I., Embiruçu, M., Martins, M. A. F., Narciso, M., Kalid, R., Soares, W. Arena Square Mobile Android. Patente: Programa de Computador. Número do registro: BR512016000566-0, data de registro: 21/06/2016, título: "Arena Square Mobile Android", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. 2016b.

Andrews, J. D., Morgan, J. M. Application of the Digraph Method of Fault Tree Construction to Process Plant. *Reliability Engineering*, 14, 85-106, 1985.

Arcidiacono, G. Development of a FTA versus Parts Count Method Model: Comparative FTA. *Quality and Reliability Engineering International*, 19, 411-424, 2003.

BAHIA. Plano Diretor da Copa do Governo do Estado da Bahia. Programa Copa 2014 na Bahia: plano de legados. Volume XIV, 2010a.

BAHIA. Contrato de parceria público privada na modalidade de concessão administrativa para reconstrução e operação do Estádio Octávio Mangabeira ("Estádio da Fonte Nova").

Secretaria do Trabalho, Emprego, Renda e Esporte - SETRE do Governo do Estado da Bahia. Salvador - BA, p. 94. 2010b.

Birolini, A. Reliability Engineering: Theory and Practice, 3 ed., Springer, 1999.

BRASIL. Estatuto de Defesa do Torcedor - Lei No 10.671, de 15 de maio de 2003, 2003.

BRASIL. Lei Geral da Copa - LEI Nº 12.663, DE 5 DE JUNHO DE 2012. 2012.

Boring, R., Stacey, M. L., Forester, J. A., Tran, T. Q., Lois, E. Issues in Benchmarking Human Reliability Analysis Methods: A Literature Review. Reliability Engineering & System Safety, 95, 591-605, 2010.

Camarda, P., Corsi, F., Trentadue, A. An Efficient Simple Algorithm for Fault Tree Automatic Synthesis from the Reliability Graph. IEEE Transactions on Reliability, R-27, 215-221, 1978.

Carpignano, A., Poucet, A. Computer Assisted Fault Tree Construction: A Review of Methods and Concerns. Reliability Engineering & System Safety, 44, 265-278, 1994.

Carvalho, A., Scapin, C. Service Fault Tree Analysis: Its Use for Improving the Efficiency of Service Process. Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2002.

CBF. Competições. Confederação Brasileira de Futebol. Disponível em: <www.cbf.com.br/competicoes/brasileiro-serie-a#.WKH8EfkrLIU>. Acesso em: 22 jun. 2014.

Čepin, M., Mavko, B. A Dynamic Fault Tree. Reliability Engineering & System Safety, 75, 83-91, 2001.

Chiacchio, F., Compagno, L., D'Urso, D., Manno, G., Trapani, N. Dynamic Fault Trees Resolution: A Conscious Trade-off between Analytical and Simulative Approaches. Reliability Engineering & System Safety, 96, 1515-1526, 2011.

Clarkson, M. B. E. A stakeholder framework of analyzing and evaluating corporate social performance. Academy of Management Review, 20(1), 92-117, 1995.

CONMEBOL. Championships. Confederación Sudamericana de Fútbol. Disponível em: <www.conmebol.com/en/content/championships>. Acesso em: 22 jun. 2014.

De Vries, R. C. An Automated Methodology for Generating a Fault Tree. IEEE Transactions on Reliability, 39, 76-86, 1990.

Dhillon, B. S., Yang, N. Human Reliability: A Literature Survey and Review. *Microelectronics Reliability*, 34, 803-810, 1994.

Edmunds, D., Wollenberg, E. A Strategic Approach to Multistakeholder Negotiations. *Development and Change*, 32, 231-253, 2001.

FBF. Competições. Federação Baiana de Futebol. Disponível em: <<http://www.fbf.org.br/competicoes-list.html>>. Acesso em: 23 jun. 2014.

FIFA - Fédération Internationale de Football Association. Aigner, G., Walker, E., Kurth, T., Livingstone, N., Tognoni, G. Technical Recommendations and Requirements for the Construction of New Stadia. 1. Ed. Fédération Internationale de Football Association, 1994.

FIFA - Fédération Internationale de Football Association. Schmidt, R., Cooper, K., Gagg, W., Walker, E., Negroni, C. Technical Recommendations and Requirements for the Construction or Modernisation of Football Stadia. 2. Ed. Fédération Internationale de Football Association, 1995.

FIFA - Fédération Internationale de Football Association. Gagg, W., Schmidt, R., Konsek, M., Negroni, S., Mandetta, S. Technical Recommendations and Requirements for the Construction or Modernisation of Football Stadia. 3. Ed. Fédération Internationale de Football Association, 2000.

FIFA - Fédération Internationale de Football Association. Brown, J., DelMont, R., Botta, C., Reddy, R., Ragain, E., Beynon, M. Football Stadiums - Technical Recommendations and Requirements. 4. Ed. Fédération Internationale de Football Association, 2007.

FIFA - Fédération Internationale de Football Association. DelMont, R., Botta, C., Reddy, R. Football Stadiums - Technical Recommendations and Requirements. 5. Ed. Fédération Internationale de Football Association, 2011.

FIFA. About FIFA. Fédération Internationale de Football Association. Disponível em: <www.fifa.com>. Acesso em: 22 abr. 2015.

Freeman, R. E. *Strategic Management: a Stakeholder Approach*. Boston: Pitman. New York: Cambridge University Press. 1984.

Fussell, J. B. A Formal Methodology for Fault Tree Construction. *Nuclear Science and Engineering*, 52, 421-432, 1973.

- Fussell, J. B. Synthetic Tree Model: A Formal Methodology for Fault Tree Construction. Ph.D. Dissertation. Nuclear Engineering Department of Georgia Institute of Technology, 1972.
- Geum, Y., Seol, H., Lee, S., Park, Y. Application of Fault Tree Analysis to the Service Process: Service Tree Analysis Approach. *Journal of Service Management*, 20, 433-454, 2009.
- Haasl, D. F. Advanced Concepts on Fault Tree Analysis. System Safety Symposium, University of Washington / The Boeing Company, Seattle, Washington, jun. 8-9, 1965.
- Hixenbaugh, A. Fault Tree for Safety. Boeing Aerospace Company Research and Engineering Division. Seattle, Washington. 1968.
- Hollo, E., Taylor, J. R. Algorithms and Programs for Consequence Diagram and Fault Tree Construction. Report No. Risø-M; No. 1907, Technical University of Denmark / Danish Atomic Energy Commission, Roskilde, Denmark, 1976.
- IEC. IEC 61025 - Fault Tree Analysis. International Electrotechnical Commission, 2006.
- Kelly, B. E., Lees, F. P. The Propagation of Faults in Process Plants: 1. Modelling of Fault Propagation. *Reliability Engineering*, 16, 3-38, 1986a.
- Kelly, B. E., Lees, F. P. The Propagation of Faults in Process Plants: 2. Fault Tree Synthesis. *Reliability Engineering*, 16, 39-62, 1986b.
- Kelly, B. E., Lees, F. P. The Propagation of Faults in Process Plants: 3. An Interactive, Computer-Based Facility. *Reliability Engineering*, 16, 63-86, 1986c.
- Kelly, B. E., Lees, F. P. The Propagation of Faults in Process Plants: 4. Fault Tree Synthesis of a Pump System Changeover Sequence. *Reliability Engineering*, 16, 87-108, 1986d.
- Kirwan, B. Human Error Identification in Human Reliability Assessment. Part 1: Overview of Approaches. *Applied Ergonomics*, 23, 299-318, 1992.
- Laplume, A. O., Sonpar, K., Litz, R. A. Stakeholder Theory: Reviewing a Theory That Moves Us. *Journal of Management*, 34(6), 1152-1189, 2008.
- Lapp, S., Powers, G. J. Computer-Aided Synthesis of Fault-trees. *IEEE Transactions on Reliability*, R-26, 2-13, 1977.

- Lassila, O., Hendler, J. Embracing Web 3.0. IEEE Computer Society, 7, 90-93, 2007.
- Lee, W., Grosh, D., Tillman, F., Lie, C. Fault Tree Analysis, Methods, and Applications - A Review. IEEE Transactions on Reliability, R-34, 194-203, 1985.
- Lewis, E. E., Böhm, F. Monte Carlo Simulation of Markov Unreliability Models. Nuclear Engineering and Design, 77, 49-62, 1984.
- Manian, R., Dugan, J. B. Coppit, D., Sullivan, K.J. Combining Various Solution Techniques for Dynamic Fault Tree Analysis of Computer Systems. Department of Electrical Engineering Thornton Hall, Charlottesville, 1998.
- Manno, G., Chiacchio, F., Compagno, L., D'Urso, D., Trapani, N. MatCarloRe: An Integrated FT and Monte Carlo Simulink Tool for the Reliability Assessment of Dynamic Fault Tree. Expert Systems with Applications, 39, 10334-10342, 2012.
- Markoff, J. Entrepreneurs See a Web Guided by Commonsense. The New York Times, Business, 12 Nov., 2006.
- Miles, J. Designing Collaborative Processes for Adaptive Management: Four Structures for Multistakeholder Collaboration. Ecology & Society, 18(4), 51-57, 2013.
- Mianabadi, H., Afshar, A., Zarghami, M. Intelligent multi-stakeholder environmental management. Expert Systems with Applications, 38, 862-866, 2011.
- Mitchell, R. K., Agle, B. R., Wood, D. J. Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts. Academy of Management Journal, 22(4), 853-886, 1997.
- Morris, B., Johnston, R. Dealing with inherent variability -the difference between service and manufacturing explained. International Journal of Operations & Production Management, 7(4), 13-22, 1987.
- NASA. Fault Tree Handbook with Aerospace Applications. NASA Office of Safety and Mission Assurance NASA Headquarters. Washington, DC. 2002.
- O'Reilly, T. What Is Web 2.0 - Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. O'Reilly Publishing, 2005.
- Peng, Z., Lu, Y., Miller, A., Johnson, C., Zhao, T. Risk Assessment of Railway

Transportation Systems using Timed Fault Trees. *Quality and Reliability Engineering International*, 32, 181-194, 2016.

PMBOK. A Guide to the Project Management Body of Knowledge - PMBOK® Guide. Project Management Institute. 5th Edition, Pennsylvania-USA, 2013.

Powers, G. J., Tompkins, F. C. Fault Tree Synthesis for Chemical Process. *AIChE Journal*, 20, 376-387, 1974.

Rao, K. D., Gopika, V., Sanyasi, V.V. S., Kushwaha, H. S., Verma, A. K., Srividya, A. Dynamic Fault Tree Analysis Using Monte Carlo Simulation in Probabilistic Safety Assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, 94, 872-883, 2009.

Rausand, M. A. *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*. Wiley-Interscience, 2a ed. New Jersey, Estados Unidos da América, 2004.

Reinicke, W. H., Deng, F. *Critical Choices. The United Nations, Networks, and the Future of Global Governance*. Ottawa: International Development Research Centre, 2000.

Roloff, J. A life cycle model of multi-stakeholder networks. *Business Ethics: A European Review*, 17, 311-325, 2008.

Roloff, J. Learning from Multi-Stakeholder Networks: Issue-Focussed Stakeholder Management. *Journal of Business Ethics*, 82, 233-250, 2007.

Salem, S. L., Apostolakis, G. E., Okrent, D. A New Methodology for the Computer-Aided Construction of Fault Trees. *Annals of Nuclear Energy*, 4, 417-433, 1977.

Savage, G. T., Nix, T. W., Whitehead, C. J., Blair, J. D. Strategies for assessing and managing organizational stakeholders. *Academy of Management Executive*, 5(2), 61-75, 1991.

Simões Filho, S. *Análise de Árvore de Falhas Considerando Incertezas na Definição dos Eventos Básicos (em Português)*. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

SQuaRe. Safety Quality Reliability. Disponível em: <www.square.ufba.br> (em Português). Acesso em: 18 jun. 2014.

Tillman, F. A., Higgins, J. J., Lee, K. W. A Literature Survey of the Human Reliability Component in a Man-Machine System. *IEEE Transactions on Reliability*, 37, 24 - 34, 1988.

Zangnoli, P., Radicchi, E. The Football Fan Community as a Determinant Stakeholder in Value co-Creation. *Physical Culture and Sport Studies and Research*, 50, 79-99, 2010.

Zhang, M., Kecojevic, V., Komljenovic, D. Investigation of haul truck-related fatal accidents in surface mining using fault tree analysis. *Safety Science*, 65, 106-117, 2014.

APÊNDICE IV.A. FORMULÁRIO COM OPÇÕES DE REGISTROS

A Tabela IV.3 apresenta o formulário de registros, elaborado a partir dos itens destacados em cinza na Figura IV.4.

Tabela IV.3. Formulário de Registros

<input type="checkbox"/> <u>Área de jogo</u> (Ex: dimensões e qualidade do campo, painéis publicitários, acesso ao campo (veículos), visibilidade, proteção contra invasão do campo);
<input type="checkbox"/> <u>Comunicação com o público</u> (Ex: alto-falantes, placares e telas de vídeo, acústica, sinalização);
<input type="checkbox"/> <u>Conforto</u> (Ex: cobertura, assentos, numeração, sanitários, instalações, telecomunicação, internet, filas);
<input type="checkbox"/> <u>Iluminação e energia</u> (Ex: fornecimento, requisitos de instalação, vazamento de iluminação e claridade);
<input type="checkbox"/> <u>Imprensa</u> (Ex: tribuna e posições de comentaristas, centro de mídia, sala de conferência imprensa, infraestrutura, estúdios);
<input type="checkbox"/> <u>Ingressos</u> (Ex: venda, controle eletrônico de acesso, informações impressas, filas, fraude);
<input type="checkbox"/> <u>Jogadores e árbitros</u> (Ex: acesso aos vestiários, estrutura dos vestiários, toaletes e área de banho, acesso ao campo (túnel), sala médica, controle de doping);
<input type="checkbox"/> <u>Necessidades especiais</u> (Ex: acessibilidade, instalações, apoio);
<input type="checkbox"/> <u>Orientação e estacionamento</u> (Ex: sinalização e indicação de direção nos bilhetes, acesso e saída do público, estrutura, estacionamento VIP, para serviços de emergência e deficientes);
<input type="checkbox"/> <u>Pré-construção</u> (Ex: localização do estádio, ofuscamento pelo sol, impacto no entorno, vazamento de som);
<input type="checkbox"/> <u>Segurança física e patrimonial</u> (Ex: conflitos, agressão, prevenção contra incêndios, sala de controle de estádio, circuito fechado de segurança, centro médico);
<input type="checkbox"/> <u>Sustentabilidade ambiental</u> (Ex: coleta seletiva, eficiência energética, consumo de água);
<input type="checkbox"/> <u>Venda de alimentos e mercadorias</u> (Ex: qualidade, variedade, atendimento, pagamento, filas, ambulantes).

APÊNDICE IV.B. RESULTADOS COMPLEMENTARES DA ÁRVORE COLABORATIVA

A parte colaborativa para os eventos indicados com as portas “Transferência de” N3-4.1, N3-4.4, N3-4.6, N3-4.8, N3-5.1, N3-5.2, N3-6.1, N3-6.3, N3-6.4, N3-6.5, N3-6.6, N3-9.1 e N3-9.4 está representada nas Figuras IV.13 (N3-4.1, N3-4.4, N3-4.6 e N3-4.8), IV.14 (N3-5.1 e N3-5.2, N3-6.3 e N3-6.4), IV.15 (N3-6.5 e N3-6.6) e IV.16 (N3-9.1 e N3-9.4).

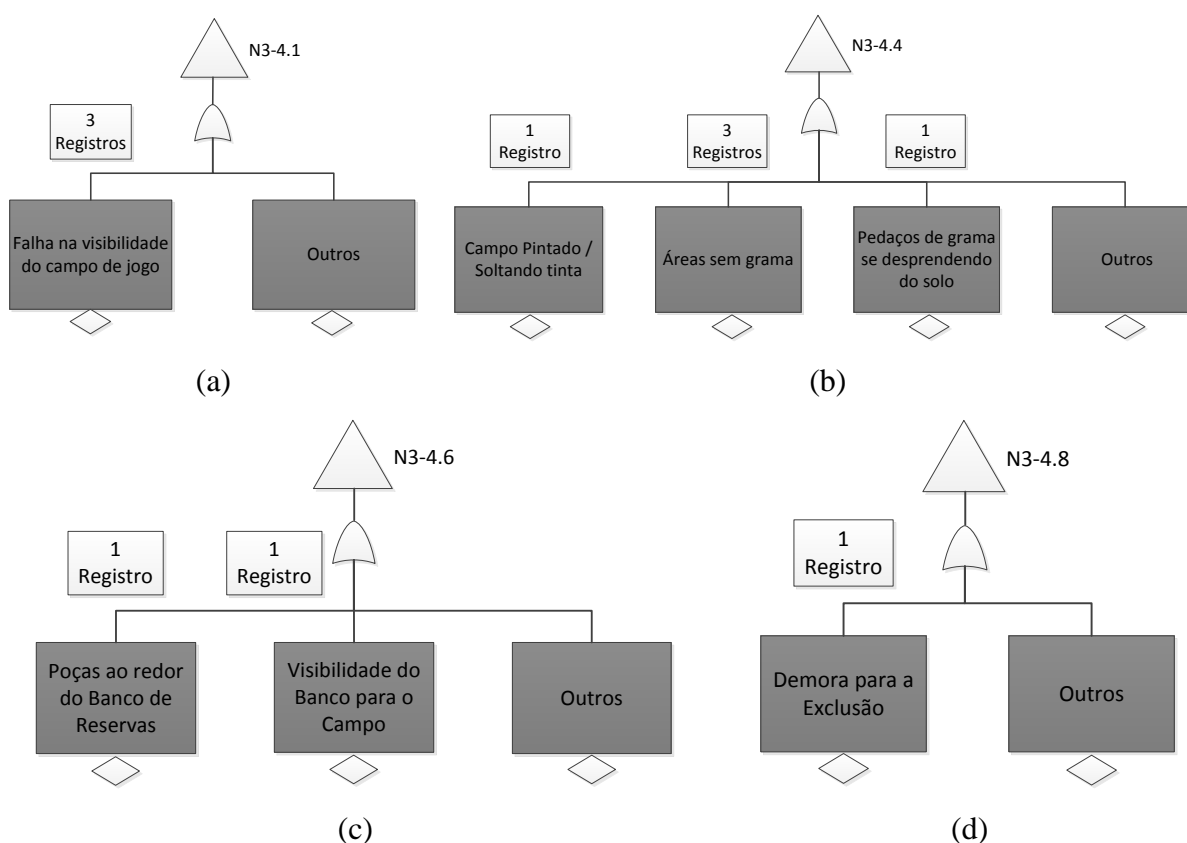


Figura IV.13. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de Eventos: (a) “Não Cumprimento das Dimensões Recomendadas”; (b) “Não Cumprimento das Recomendações Referentes à Qualidade do Campo”; (c) “Falha no Banco de Reservas”; (d) “Falha na Exclusão dos Espectadores do Campo”.

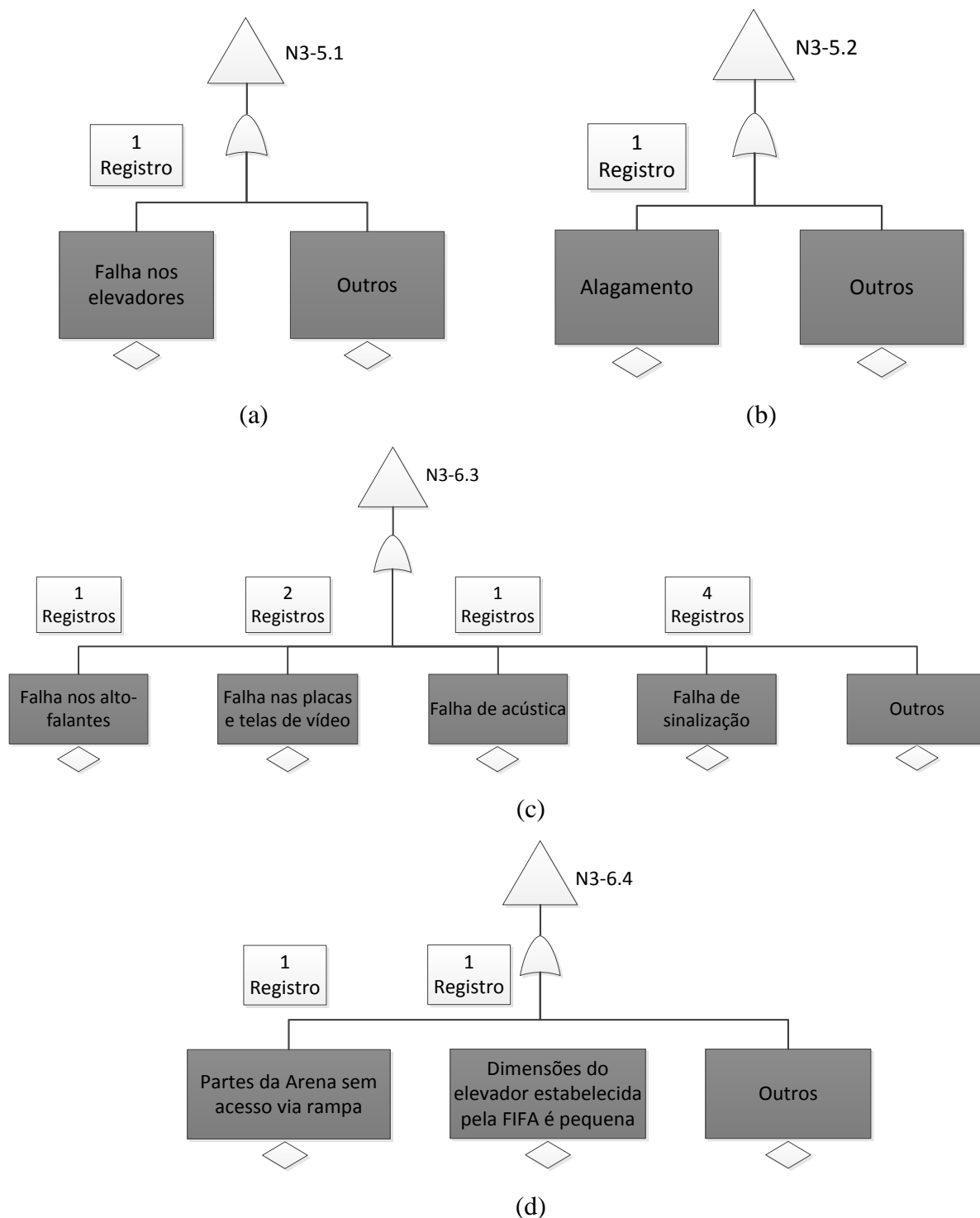
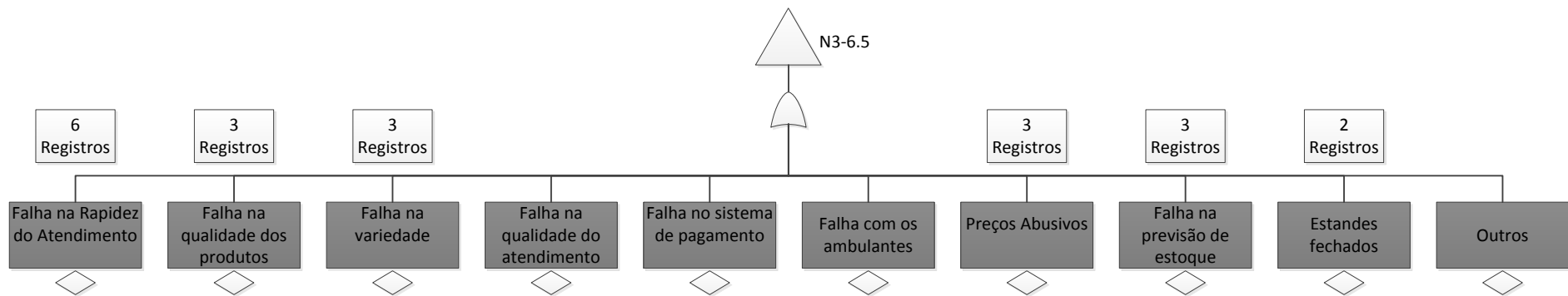
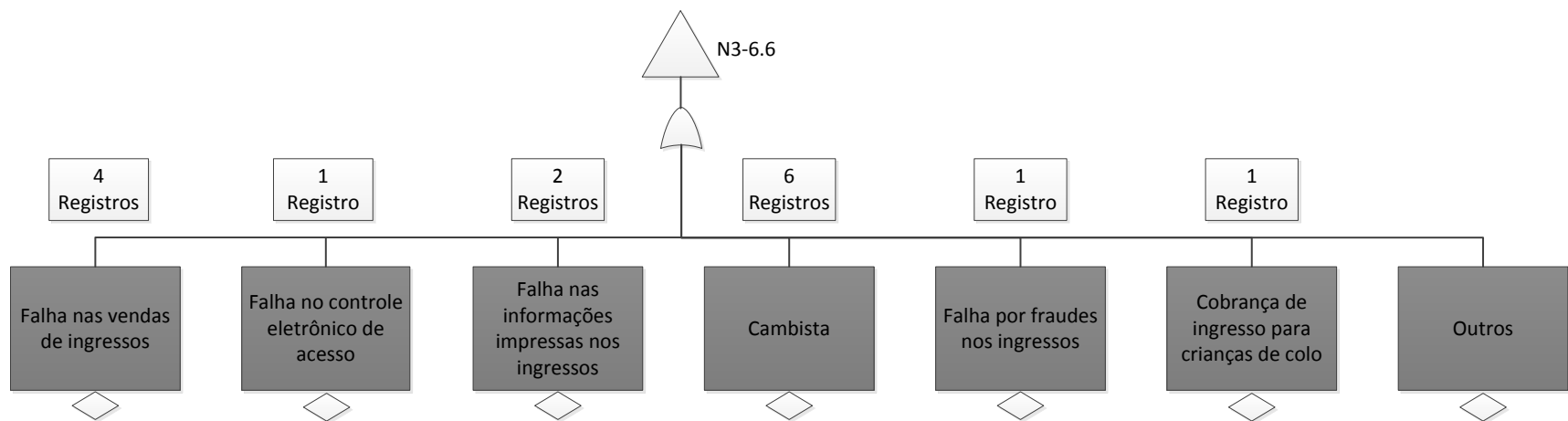


Figura IV.14. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de Eventos: (a) “Falha no Acesso aos Vestiários”; (b) “Falha dos Vestiários, Toaletes e Áreas de Banho”; (c) “Falha na Comunicação com o Público”; (d) “Falha com os Espectadores com Necessidades Especiais”.



(a)



(b)

Figura IV.15. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de Eventos: (a) “Falha nos Estandes de Vendas de Mercadorias”; (b) “Falha com os Ingressos ou Controle Eletrônico de Acesso”.

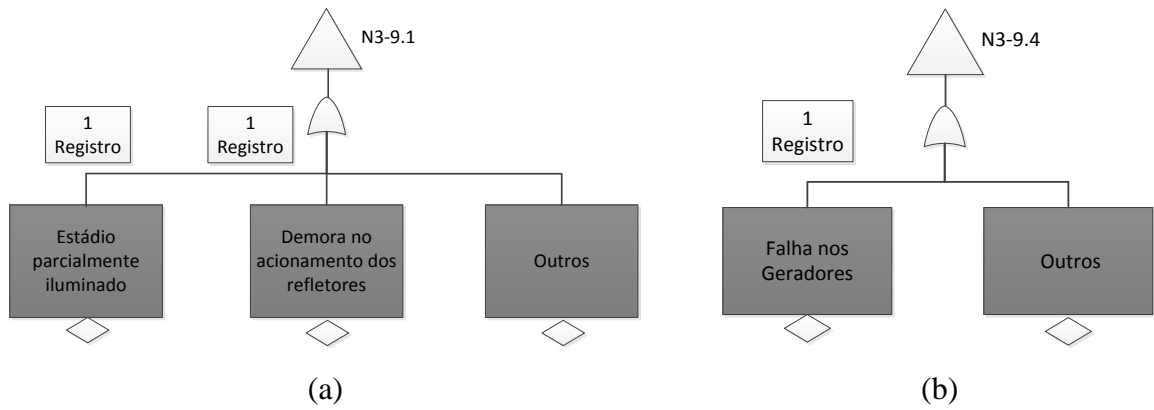


Figura IV.16. FT Colaborativa - “Transferência de” e Desmembramento de Eventos: (a) “Falha na Alimentação (Fornecimento) de Energia”; (b) “Falha nos Requisitos de Instalações Elétricas”.

Capítulo V. Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Resumo: Neste capítulo são apresentadas as considerações finais sobre os resultados obtidos neste trabalho, conclusões a respeito da utilização prática da técnica proposta neste trabalho, e algumas variações como a análise da evolução dos requisitos e práticas de enxertos. Além disso, serão apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Análise de Árvore de Falhas; Processos de Serviços; *Web 2.0*; *Multi-Stakeholders*; Inteligência Coletiva.

V.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem apresentada neste trabalho se mostrou viável com a ampla participação dos *multistakeholders*, reforçando a tendência de se utilizar ao máximo a inteligência coletiva. Este método impactou algumas áreas do conhecimento, de forma que viabilizou uma melhoria na STA (*Service Tree Analysis* - Análise de Árvores de Serviço), que estendeu a aplicação da Análise de Árvore de Falhas para aplicação em domínios menos regulados (em geral por apresentarem severidade moderada ou baixa), como os processos de serviço, por exemplo. O método também colabora com a Análise de Árvore de Falhas Dinâmica (DFTA: *Dynamic Fault Tree Analysis*), na medida em que a árvore pode ser continuamente adaptada ao longo do tempo, e ainda traz benefícios para a confiabilidade humana, já que o comportamento humano e suas influências estão muito mais presentes na prestação do serviço do que no desempenho de um equipamento ou processo.

A abordagem proposta é baseada na ideia de se construir uma FTA teórica a partir do requisito vigente que regulamente o evento topo. Baseado no contexto da sociedade atual, em que cada vez mais as pessoas estão participando das redes sociais, expondo pontos de vista e opiniões (paradigma da inteligência coletiva da *Web 2.0*), a FTA teórica passa a ter seus eventos acionados através de ocorrências de falhas registradas por múltiplos agentes-chave. Parte destes *multistakeholders* é composta pelos consumidores finais, que têm aumentado as suas exigências com relação à segurança das pessoas e dos patrimônios, à qualidade de serviços prestados e à preservação do meio ambiente. Sendo assim, as empresas prestadoras de serviços precisam conhecer muito bem as leis e normas que regulamentam o serviço que

prestam, bem como as necessidades extrínsecas e intrínsecas dos seus clientes, para que possam melhorar a qualidade dos seus serviços e, conseqüentemente, agradar e fidelizar o consumidor.

Desta forma, com a participação de multi-agentes-chave, a aplicação da análise de árvore de falhas para o setor terciário (STA) se torna melhor adaptada. Esta participação ampla dos *multistakeholders* se torna viável com a utilização de formulários de registros colaborativos, em conformidade com diretrizes da *Web 2.0*. Assim, a empresa prestadora de serviço que deseja aplicar esta metodologia deve disponibilizar uma página na *Web* ou um aplicativo para *smartphones* (celulares “inteligentes”) ou *tablets* (dispositivo pessoal em formato de prancheta) que possibilite ao usuário registrar a ocorrência de falhas.

Dentre os potenciais benefícios gerais desta técnica de construção, é possível destacar: potencial de redução de custos no processo de construção da FTA, já que os especialistas (tradicionalmente alocados como agentes-chave), que geralmente são pessoas que possuem *expertise* na área analisada e elevadas remunerações, ficam alocados apenas na função de moderadores, economizando as horas de trabalho por eles despendidas; melhor viabilização da aplicação desta ferramenta para empresas prestadoras de serviços; obtenção de uma descrição mais visual, facilitando o entendimento dos requisitos como um todo; possibilidade de realização de análise quantitativa partindo do histórico gerado pelos registros; aproximação dos consumidores; fundamentos para tomadas de decisão mais direcionadas a satisfazer as necessidades dos clientes; possibilidade de se praticar enxertos de mais de uma norma na FTA; e acompanhamento da evolução dos documentos normativos com a identificação do cenário de tendências da entidade reguladora do serviço em questão. Além disso, a empresa prestadora de serviço poderá usufruir de todos os benefícios que uma FTA clássica oferece: desde a obtenção de uma ferramenta mais visual, até a elaboração da análise quantitativa. Por fim, é importante destacar que, caso se ofereça a opção “Outros” no *software* de registro, podem-se obter informações valiosas a respeito de itens que a norma vigente não aborda, mas que os clientes podem enxergar como falha.

Neste trabalho está apresentada a aplicação prática desta técnica para a Copa do Mundo FIFA de Futebol 2014 através da construção da FTA referente ao documento normativo da FIFA. Para apoiar a Abordagem *Multistakeholder* para Análise de Árvore de Falhas no Setor Terciário na construção de uma FTA, os registros por parte dos usuários foram realizados através do “Arena SQuaRe” (oferecido em forma de aplicativo e página *Web*). Isto possibilitou a obtenção de uma descrição muito mais visual dos requisitos, o que facilita o entendimento o processo como um todo.

Este trabalho também contempla a análise da evolução dos requisitos normativos, através da comparação de cinco FTA (uma para cada edição do documento normativo da FIFA), o que mostrou que os itens “Segurança” e “Decisões na fase de pré-construção” sofreram muitas alterações e requerem uma atenção especial. O item “Segurança” se tornou mais robusto e foi subdividido em “Segurança Física” e “Segurança Patrimonial”, provavelmente devido à tendência da FIFA de dar mais importância às questões de segurança, inclusive punindo infratores, naturalmente dentro de sua esfera de competência. Já o item “Decisões na fase de pré-construção” teve o seu sub-item “Sustentabilidade Ambiental” melhorado com a criação do “Programa Gol Verde” com diversas atualizações incluídas, motivadas pelo aumento do clamor mundial por políticas voltadas para as questões ambientais. Destaca-se ainda a criação dos itens “Instalações Temporárias” e “Hospitalidade”. O primeiro traz benefícios aos proprietários das arenas com a oportunidade de inúmeras fontes de renda e arrecadação, bem como a possibilidade de se aumentar a capacidade do estádio para jogos de maior apelo. Já o segundo mostra que a FIFA está ciente de que cada vez mais é importante a captação de parceiros e patrocinadores, inclusive com a nova tendência mundial da comercialização de *naming rights* (venda do nome da arena para algum patrocinador, exemplo: Itaipava Arena Fonte Nova). Desta forma é preciso oferecer certo benefícios aos parceiros e patrocinadores, tais como: camarotes, áreas VIP, entre outros.

Por fim, destaca-se e mostra-se na prática que é viável a realização de enxertos nas árvores, caso seja necessária a utilização de outros requisitos para compor uma árvore de falhas de forma mais ampla. Neste trabalho, o item relacionado à Sustentabilidade ambiental recebeu enxertos da certificação LEED (*Leadership in Energy Efficient Design* - Liderança em Projeto Eficiente de Energia), tanto para o quesito “Construção” quanto para o quesito “Operação e Manutenção” das arenas.

V.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Alguns itens deste trabalho merecem e devem ser desenvolvidos posteriormente no intuito de dar sequência e desdobramentos ao modelo desenvolvido. Desta forma, algumas sugestões para trabalhos futuros ficam aqui identificadas e registradas.

Primeiramente destaca-se a necessidade de se efetuar a realização da análise quantitativa da FTA obtida, o que será de extrema importância para fundamentar tomadas de decisão.

Para este trabalho foi utilizada de maneira direta e efetiva a ferramenta de registro “RSQuaRe”. Assim, outro quesito que deve ser desenvolvido futuramente é a análise da compatibilidade e a interface da técnica de construção de FTA, aqui proposta, com a utilização das demais ferramentas do “Arena SQuaRe”, que são: a ferramenta de monitoramento (MSQuaRe), que oferece funções de monitoramento e apresenta as estatísticas e indicadores relacionados às ocorrências registradas; e a ferramenta de gerenciamento (GSQuaRe), que oferece funções de gerenciamento das ocorrências, para se analisar se é válida a utilização destas ferramentas no gerenciamento de projetos, mais especificamente no gerenciamento dos riscos.

NOTAÇÃO

Abreviaturas

DFTA	<i>Dynamic Fault Tree Analysis</i> – Análise de Árvore de Falhas Dinâmica;
FIFA	<i>Fédération Internationale de Football Association</i> - Federação Internacional de Futebol;
FTA	<i>Fault Tree Analysis/ Failure Tree Analysis</i> - análise de árvore de falhas;
GSQuaRe	Ferramenta de Gerenciamento do Arena SQuaRe
LEED	<i>Leadership in Energy Efficient Design</i> - liderança em projeto de energia eficiente;
MSQuaRe	Ferramenta de monitoramento do Arena SQuaRe
SQuaRe	Safety, Quality and Reliability - Linha de pesquisa do PROTEC (Processos e Tecnologia) da Universidade Federal da Bahia (UFBA)
STA	<i>Service Tree Analysis</i> - Análise de Árvores de Serviços.
RSQuaRe	Ferramenta de Registro do Arena SQuaRe