

2 Análise de risco e teoria de decisão

Neste capítulo, apresentam-se conceitos fundamentais da análise de risco e teoria de decisão, que juntamente com o referencial que será apresentado no capítulo 3, constituem a base conceitual para o desenvolvimento do estudo de caso apresentado no capítulo 4. Baseando-se na revisão bibliográfica elaborada nos trabalhos acadêmicos de Carazas (2011) e de Modica (2009), abordam-se especificamente os subtemas: eventos de risco e incerteza; o processo de decisão e a percepção do risco; e gerenciamento de risco na perspectiva de sua aplicação nas decisões associadas às atividades de inspeção e manutenção preventiva e preditiva.

2.1. Risco e incerteza

De acordo com o *Project Management Institute* (PMI), “risco é um evento ou condição incerta que, se ocorrer, tem um efeito positivo ou negativo nos objetivos do projeto [...]” (PMI, 2004, p. 376).

Busca-se neste capítulo ressaltar a distinção entre risco e incerteza, considerando-se que o termo incerteza não é autoexplicativo e nem sinônimo de risco. O gestor pode considerar as potenciais consequências dos riscos e adotar ferramentas e medidas preventivas. Em condições de incerteza, um evento ou situação inesperada pode ocorrer de forma independente de ter sido ou não considerado antecipadamente (Modica, 2009; Perminova; Gustafsson e Wikström, 2008).

Conforme argumentam Ward e Chapman (2003, apud Carazas, 2011), as formas tradicionais de tratamento ao risco concentram-se em eventos ligados a variações, sem dar a devida ênfase aos aspectos de ambiguidades existentes nos projetos. Esses autores buscam conceituar incerteza como sendo a falta de certeza e o risco como as implicações de incertezas significativas sobre o nível de desempenho que pode ser obtido em um projeto.

Destacam-se, dentre os fatores capazes de influenciar a percepção de incerteza por parte dos gestores, as competências pessoais, a intuição e a capacidade de julgamento (Perminova, Gustafsson e Wikström, 2008). No entanto, esses autores admitem que ainda não existe uma ferramenta desenvolvida que permita estabelecer as principais competências para a reflexão, identificação e tratamento das incertezas.

Meyer, Loch e Pich (2002) ressaltam que as incertezas fazem parte da maioria dos projetos de diferentes áreas de atividades socioprodutivas. Esses autores pesquisaram 16 projetos em diferentes setores, tais como tecnologia de informação, telecomunicações, produtos farmacêuticos, processamento de minério de ferro, desenvolvimento aeronáutico e construção civil. Foi possível identificar quatro tipos de incertezas:

- **Variabilidade:** variações aleatórias, porém previsíveis e controláveis em torno de seus objetivos conhecidos de custo e prazo;
- **Incerteza previsível:** Uns poucos fatores conhecidos irão afetar o projeto de uma forma imprevisível, permitindo, entretanto, que sejam estabelecidos planos de continência para tratar das consequências de seu eventual acontecimento;
- **Incerteza imprevisível:** um ou mais fatores significativos que influenciam o projeto não podem ser previstos obrigando a solução de novos problemas;
- **Caos:** fatores completamente imprevisíveis invalidam completamente os objetivos, o planejamento e a abordagem do projeto, obrigando à sua repetida e completa redefinição.

Modarres (2006) associou o termo risco à ocorrência de um evento indesejável, mas também à probabilidade dele ocorrer e às consequências caso venha ocorrer.

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005, p. 2), risco é a “[...] combinação da probabilidade de um evento e de suas consequências”, mas não faz menção à palavra incerteza.

Definição semelhante para risco é apresentada pela Petrobras em sua *Norma N-2784 – Confiabilidade e Análise de Riscos*. Para a empresa, risco é “[...] medida de perdas econômicas, danos ambientais ou lesões humanas em termos da probabilidade de ocorrência de um acidente (frequência) e magnitude das perdas, dano ao ambiente ou de lesões (consequências)” (Petrobras, 2005, p. 12).

2.2. Análise de risco

Uma análise de risco é um processo bem estruturado que visa definir e qualificar as incertezas associadas a um evento ou a um determinado cenário de operação, onde são modeladas e quantificadas as probabilidades de ocorrência de um determinado fato (falha) indesejável que reduza o desempenho na operação do sistema. Tais probabilidades estão relacionadas às consequências da ocorrência do evento, também previamente quantificadas e expressas em termos de custo.

Uma análise de riscos é composta por diversas etapas, dependendo da natureza da análise. No caso de sistemas produtivos, a análise deve responder basicamente às seguintes perguntas para cumprir com a necessidade de quantificar um potencial modo de falha (Wang e Roush, 2000):

- O que pode dar errado na operação do sistema?
- Qual é a chance da ocorrência da falha?
- O que será causado como consequência da ocorrência da falha?

As respostas a estas perguntas fornecerão ao avaliador um panorama do sistema. Estas respostas, entretanto, são difíceis de serem obtidas e, para tanto, a análise de risco faz uso de ferramentas de análise do tipo quantitativo e qualitativo que permitirão modelar o cenário de operação. Antes de entrar em detalhes na descrição das ferramentas da análise de risco, é importante definir os conceitos de perigo e de segurança, que frequentemente são usados na sua aplicação na prática.

O perigo pode ser definido como um prejuízo potencial que pode recair sobre pessoas, bens ou o meio ambiente, sendo que este pode ser um agente químico ou físico (Kumamoto e Henley, 1996). Esta definição corresponde a uma situação bem determinada, pois pode se referir às situações de perigo de natureza aleatória, de origem natural, tecnológica ou econômica, assim como às de natureza determinística, relacionadas com ações intencionais (Casal et al., 1999).

O conceito de perigo, segundo Wang e Roush (2000), está baseado somente nas consequências potenciais de um evento indesejado (E), sem considerar as probabilidades do evento acontecer realmente. Estas consequências podem ser classificadas por uma escala hierárquica de gravidade ou severidade (S), tal que um perigo será tanto maior quanto mais graves forem as suas consequências.

Perigo é, então, um conceito associado unicamente à gravidade das consequências do evento “E”.

Já o conceito de segurança para o estudo de risco está relacionado à operação bem sucedida do sistema. A definição de segurança da operação do sistema é a capacidade do sistema cumprir com sucesso a função para o qual foi projetado sem que ocorram eventos com consequências indesejadas, tanto para os componentes do próprio sistema como para o pessoal de operação ou o meio ambiente. É neste contexto que a segurança de operação do sistema está relacionada com as habilidades de avaliação, previsão e controle de falhas no mesmo (Sánchez, 2005). O autor considera “a função para o qual foi projetada” como uma série de funções com um desempenho específico e, a partir deste ponto, conceitos como disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade passam a ter uma importância adicional na caracterização da segurança da operação.

O conceito de segurança é definido como a capacidade de uma entidade de evitar a ocorrência, dentro de condições pré-estabelecidas, de eventos críticos para o seu funcionamento ou catastróficos para seus operadores e para o meio ambiente. A segurança é medida pela probabilidade de que, dentro de condições específicas, uma entidade não dê oportunidade à ocorrência de um conjunto de consequências catastróficas ao longo de sua vida útil (Sánchez, 2005).

Para a execução de uma análise de riscos, devem-se definir quais os níveis de riscos que podem ser tolerados e, por outro lado, enfrentados, considerando os custos decorrentes da perda de capacidade de produção, causados pela ocorrência de falha de um dos seus componentes. Em outras palavras, quanto se está disposto a arriscar na previsão de um perigo às instalações, às pessoas e ao meio ambiente, ou mesmo de uma perda econômica.

Desse modo, para poder saber quais são os níveis de risco aceitáveis, é necessário estimá-los de forma sistemática e da forma mais abrangente possível, buscando administrar as consequências que se apresentariam às pessoas, ao meio ambiente e à própria instalação industrial. A análise de risco avalia e quantifica o risco e as consequências da ocorrência de um evento indesejado ocasionado pelas falhas dos sistemas, equipamentos ou mesmo dos processos operacionais e das atividades de manutenção. Assim a análise de risco é uma ferramenta usada para auxiliar a tomada de decisão sob uma condição de incerteza. Já a tomada de

decisão decorrente da análise está relacionada aos custos, aos tempos de indisponibilidade e ao desempenho (Schuyler, 2002).

Um procedimento bastante usual de análise de risco envolve quatro etapas principais: (i) identificação do escopo; (ii) quantificação de risco, relacionada com a estimativa das probabilidades de ocorrência de cada um dos possíveis eventos inesperados ou acidentes; (iii) avaliação de riscos, que avalia as consequências e os custos decorrentes da ocorrência de falhas; e (iv) decisões em relação à seleção de políticas de manutenção.

Dependendo dos resultados da análise de risco, é possível avaliar a possibilidade de modificação do projeto, caso as atividades de manutenção não reduzam o risco a um nível aceitável determinado pelos operadores do sistema. A descrição de cada uma das etapas será tratada mais adiante.

Apresentam-se, a seguir, as ferramentas, técnicas ou métodos mais utilizados em uma análise de risco, sejam esses de natureza quantitativa ou qualitativa. Na Figura 2.1, apresenta-se um processo de análise de risco, cuja realização combina técnicas quantitativas e qualitativas.

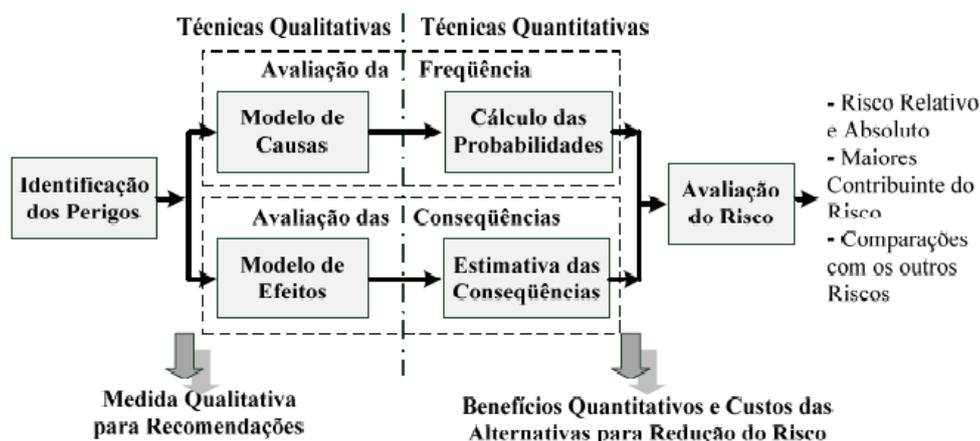


Figura 2.1 – Processo de análise de risco que combina técnicas quantitativas e qualitativas

Fonte: Arendt (1990).

As técnicas quantitativas permitem calcular as frequências de ocorrência e as consequências em termos financeiros. Essa análise só é adequada quando o analista possui dados numéricos apropriados, de forma que seja possível o cálculo. As origens desses dados, via de regra, são os próprios históricos de operação, bem

como os registros decorrentes das diversas intervenções para manutenção (Arendt, 1990; ABS, 2000).

As técnicas qualitativas de risco têm a finalidade de identificar as ameaças ao sistema e o impacto das consequências, de forma que sejam levantados aspectos relevantes para a gestão da manutenção e inspeção, tais como o impacto ambiental, os efeitos sobre a população local, as exigências legais e as consequências internas à organização (perdas de produção, geração de produtos/serviços de qualidade comprometida, acidentes de trabalho).

Para a identificação de riscos, sugere-se às empresas o uso de uma combinação de técnicas e ferramentas de apoio. As técnicas de identificação de riscos examinam tanto o passado quanto o futuro e podem apresentar grande variação quanto à sofisticação. No entanto, a maior parte das empresas adota as abordagens mais simples. Por exemplo, empregam técnicas de rastreamento de eventos de perda ou de falhas. Apresentam-se no Quadro 2.1, a seguir, exemplos de técnicas de identificação de eventos de riscos.

Quadro 2.1 - Exemplos de técnicas de identificação de riscos

Técnica	Definição
Inventário de eventos	Trata-se da relação detalhada de eventos em potencial comuns às empresas de um cenário industrial ou ainda para um determinado tipo de processo, ou atividade, comum às empresas daquele cenário. Alguns <i>software</i> podem gerar listas de eventos relevantes originárias de uma base geral de potenciais eventos. Por exemplo, uma organização envolvida em um projeto de desenvolvimento de <i>software</i> utiliza-se de uma relação detalhada de possíveis eventos referentes a projetos desse tipo.
Análise interna	Pode ser realizada como parte da rotina do ciclo de planejamento de negócios, tipicamente por meio de reuniões dos responsáveis pela unidade de negócios. A análise interna pode dispor das informações de outras partes interessadas (clientes, fornecedores e outras unidades de negócios) ou da consulta a um especialista no assunto, e de fora da unidade (especialistas funcionais internos ou externos ou pessoal interno de auditoria).
Alçadas e limites	Esses gatilhos servem para alertar a administração sobre áreas de preocupação pela comparação de transações ou ocorrências atuais com critérios predefinidos. Uma vez acionado o gatilho, um evento poderá necessitar de nova avaliação ou de uma resposta imediata.
Oficinas de trabalho e entrevistas	Essas técnicas identificam eventos com base na experiência e no conhecimento acumulado da administração, do pessoal ou de outras partes interessadas por meio de discussões estruturadas. O facilitador liderará um debate sobre eventos que possam afetar a realização dos objetivos da empresa ou de uma de suas divisões ou unidades. Ao combinar o conhecimento e a experiência dos membros da equipe, podem-se identificar importantes eventos que, de outro modo, poderiam passar despercebidos.

Quadro 2.1 - Exemplos de técnicas de identificação de riscos (cont.)

Técnica	Definição
Análise de fluxo de processo	Essa técnica congrega as entradas, as tarefas, as responsabilidades e as saídas que se combinam para formar um processo. Considerando-se os fatores internos e externos que afetam as entradas ou as atividades de um determinado processo, a empresa identifica os eventos que podem afetar o cumprimento dos objetivos desse processo. Por exemplo, um laboratório médico mapeia os seus processos de recebimento e a análise de amostras de sangue. Ao utilizar mapas de processo, o laboratório considera uma série de fatores que podem afetar as entradas, as tarefas e as responsabilidades, identificando os eventos de riscos relacionados com a rotulagem de amostras, as transferências do fluxo dentro do processo e as mudanças de turno do pessoal.
Metodologias de dados sobre eventos de perda	As bases de dados sobre eventos individuais de perdas passados representam uma fonte útil de informações para identificar as tendências e a raiz dos problemas. Após ter identificado uma raiz, a administração poderá decidir que é mais eficaz avaliá-la e tratá-la do que abordar eventos individuais. Por exemplo, uma empresa que opera uma grande frota de automóveis mantém uma base de dados de reclamações de acidentes e, mediante análise, constata que um percentual desproporcional de acidentes, em número e valor monetário, está associado a motoristas de determinadas unidades, área geográfica e faixas etárias. Essa análise permite que a direção identifique as causas dos eventos e adote as medidas necessárias.
Indicadores preventivos de eventos	Ao monitorar dados associados aos eventos de riscos, a empresa pode identificar a existência de condições que poderiam originar um evento. Por exemplo, as instituições financeiras, desde há muito, reconhecem a correlação entre os atrasos nos pagamentos de empréstimos e a eventual inadimplência nestes e o efeito positivo de uma intervenção precoce. O monitoramento de padrões de pagamento permite que o potencial de inadimplência seja reduzido por uma ação oportuna.

Fonte: COSO, 2004.

Apresentam-se, a título de ilustração, algumas ferramentas consagradas como a Análise Preliminar de Riscos ou PHA (Preliminary Hazard Analysis), a Análise Crítica de Processos (ACP), HAZOP (*Hazard and Operability Study*) e a Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*). Essas ferramentas podem ser consideradas as mais conhecidas para análises de natureza qualitativa (Chin et al., 2009; Tsuru et al., 2008; Pinna et al., 1998; Bouti e Kadi, 1994, Carazas, 2011).

Esses métodos caracterizam-se por não utilizarem cálculos numéricos. Além disso, podem ser subdivididos em métodos comparativos e generalizados. As técnicas ou métodos de análise do tipo comparativo baseiam-se na utilização da experiência adquirida em operação de sistemas ou equipamentos similares já existentes, assim como em análises de efeitos em sistemas similares ao estudado.

São quatro os principais métodos de análise comparativa: (i) manuais técnicos ou códigos e normas de projeto; (ii) listas de verificação ou *check lists*;

(iii) análise histórica de acidentes; e (iv) análise preliminar de riscos ou *Preliminary Hazard Analysis* (PHA).

Os métodos generalizados de identificação de riscos são baseados no estudo das instalações e processos com o suporte de técnicas estruturadas. Os principais métodos generalizados são:

- Análise “e se...?” ou em inglês “*What if...?*”;
- Análise Crítica de Processos (ACP) ou HAZOP (*Hazard and Operability Study*);
- Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*).

As listas de verificação ou *check lists* são também chamadas como listas de verificação de segurança. São utilizadas na análise de risco para o controle de um determinado processo de operação, montagem, procedimento de adaptação de equipamentos, procedimento de manutenção, etc.. Em outras palavras, constitui um guia de procedimentos, que deverão ser seguidos numa atividade qualquer.

Esse método consiste no preenchimento de listas de fácil acesso, que permitem ter um controle de parâmetros de pressão, temperatura e vazão dependendo do sistema sob análise. Essas listas devem ser elaboradas por pessoas com experiência na operação ou no projeto do processo de produção ou podem também ser baseadas em uma norma ou em parâmetros padrões de operação para o sistema em estudo.

Por possuírem uma estrutura de fácil e rápido entendimento, elas são utilizadas também como um meio de comunicação entre as equipes de monitoração e de controle com as equipes de operação e manutenção. Tais listas, por se tratarem de documentos escritos, geram automaticamente um histórico de operação do sistema. As listas de verificação podem ser usadas também no desenvolvimento de um novo projeto ou mesmo de um projeto de modificação da planta em estudo. O resultado da aplicação deste método é completamente qualitativo, limitado ao cumprimento ou não das normas de referência.

Esse método é conhecido pela sigla em inglês PHA (*Preliminary Hazard Analysis*) e também é chamado de análise preliminar de perigos – APP (Aguiar, 2008). A ferramenta foi desenvolvida inicialmente pelas Forças Armadas dos Estados Unidos e é aplicada, principalmente, na etapa de projeto ou em sistemas

os quais não tenham sido postos em operação anteriormente (Rausand e Hoyland, 2004).

O principal objetivo deste método é identificar os “perigos”, produtos perigosos (líquido e gases inflamáveis, por exemplo), ou os componentes críticos dentro do sistema e revisar os pontos nos quais seja possível acontecer uma liberação de energia de forma descontrolada. Desse modo, analisam-se materiais perigosos que operam no sistema, os equipamentos e seus componentes, assim como processos, operações e equipamentos de segurança. O resultado da análise proporciona recomendações para reduzir ou eliminar tais perigos (Sánchez, 2005).

Dentre os recursos necessários fundamentais para a aplicação desse método (de relativo baixo investimento), citam-se as pessoas com experiência em segurança, códigos de projeto e especificações técnicas dos equipamentos e materiais. Com esses recursos humanos e com o auxílio de uma tabela é possível concluir a análise.

Como resultado da aplicação do método PHA, gera-se um documento, no qual identificam-se claramente os perigos, as causas, as consequências potenciais e as diferentes medidas preventivas ou corretivas associadas. Essas informações facilitam a tomada de decisão sobre medidas que possam prevenir a ocorrência dos perigos ainda na fase de projeto do sistema (AGL, 2006).

A análise “*What if...?*”, ou “o que aconteceria se...?”, não é tão estruturado quanto os outros métodos, mas é de fácil adaptação por parte do usuário de qualquer sistema. Como o seu nome indica, o método consiste em questionar o resultado da presença de eventos indesejados que poderiam provocar consequências perigosas. O método questiona a possibilidade de eventos perigosos durante as etapas de projeto, implementação, modificação e operação de um determinado sistema produtivo. Como os outros métodos, esse solicita um conhecimento básico do sistema e a capacidade de sintetizar as possíveis combinações de eventos dentro do processo (Sánchez, 2005).

Devido à facilidade de adaptação, esse método é de alta aplicabilidade e depende somente do direcionamento e qualidade das perguntas que são enunciadas. Aplica-se a sistemas de segurança contra incêndios, segurança pessoal, segurança elétrica, dentre outros exemplos. As perguntas são formuladas em função da experiência prévia em sistemas com características similares ou por

meio do estudo de perigos de operação do sistema – também conhecido por HAZOP (sigla em inglês, correspondente a *Hazard and Operability Studies*).

O estudo HAZOP foi desenvolvido no início dos anos 60 pela empresa Imperial Chemical Industries (ICI), visando identificar possíveis problemas de operação de uma instalação industrial, pela análise sistemática dos problemas, planejamento e respostas a uma sequência de perguntas (como?, quando?, por quê?, etc.).

O HAZOP é um método indutivo de identificação de riscos baseado no princípio de que acidentes acontecem em consequência da perda de controle de algumas das variáveis do processo, em relação aos parâmetros normais de operação. O método de análise pode ser dividido em cinco etapas principais: (i) definição do sistema em estudo; (ii) definição de nós; (iii) definição dos caminhos alternativos; (iv) elaboração do HAZOP e, por fim, (v) a redação do informe de resultados.

A aplicação do método HAZOP permite obter diferentes pontos de vista da operação e da segurança da planta. Do ponto de vista da segurança operacional, proporciona aos operadores melhor conhecimento da operação do sistema, sem requerer muitos recursos, além do tempo gasto nas seções de elaboração do HAZOP.

O HAZOP enfoca tanto os problemas de segurança, buscando identificar os perigos que possam colocar em risco os operadores e os equipamentos da instalação, como também os problemas de operabilidade que, embora não sejam perigosos sob o ponto de vista de ameaça à integridade da planta, podem causar perda de produção ou podem afetar a qualidade do produto e a eficiência do processo. Portanto, o HAZOP identifica tanto problemas que possam comprometer a segurança da instalação como aqueles que possam causar perda de continuidade operacional ou perda de especificação do produto.

Devido a sua natureza puramente qualitativa, torna-se praticamente impossível estimar a frequência das falhas, nem das consequências, segundo a perspectiva de custos. Os resultados obtidos estão diretamente ligados ao conhecimento das equipes empenhadas na elaboração da análise. Como o método baseia-se nas informações disponíveis e na experiência dos operadores, alguns

riscos podem ser omitidos devido ao desconhecimento ou conhecimento incorreto da operação do sistema.

Portanto, para a execução de uma análise do tipo HAZOP de boa qualidade, exige-se, além da participação de especialistas experientes, informações precisas, detalhadas e atualizadas a respeito do projeto e procedimentos de operação da instalação analisada. Para a execução do HAZOP deve-se dispor de materiais atualizados e informações sobre o processo, instrumentação e operação da instalação. Estas informações podem ser obtidas através de documentação, tais como especificações técnicas, procedimentos de operação e de manutenção ou por pessoas com qualificação técnica e experiência.

Indica-se abaixo a documentação necessária para execução do HAZOP, conforme Aguiar (2008):

- Fluxogramas de engenharia;
- Fluxogramas de processo e balanço de materiais;
- Memoriais descritivos, incluindo a filosofia de projeto;
- Folhas de dados de todos os equipamentos da instalação;
- Dados de projeto de instrumentos, válvulas de controle, etc.; especificações e padrões dos materiais das tubulações;
- Diagrama lógico de intertravamento, juntamente com descrição completa;
- Matrizes de causa e efeito;
- Diagrama elétrico;
- Especificações das utilidades, tais como vapor, água de refrigeração, ar comprimido, etc.;
- Desenhos mostrando interfaces e conexões com outros equipamentos na fronteira da unidade/sistema analisados.

A análise de modos e efeitos de falhas (FMEA), em inglês *failure modes and effects analysis*, é uma técnica do “menor ao maior”, ou seja, baseia-se na lógica indutiva para determinar o nível de dependência entre sistemas (Bouti e Kadi, 1994).

A análise do tipo FMEA é um dos métodos de análise de confiabilidade de sistemas mais utilizados e de maior eficácia, pois tem a capacidade de identificar possíveis modos pelos quais os componentes falham, as consequências e os efeitos dessas falhas. O FMEA é empregado na melhoria de projetos de sistemas,

na determinação dos pontos vulneráveis, na concepção de testes, sendo usado também no projeto de linhas de produção e no planejamento da manutenção. O método é inicialmente qualitativo, mas podem ser incluídas estimativas de cálculo de probabilidades de falha (Lewis, 1987).

Como método, o FMEA tem diretrizes gerais as quais norteiam sua elaboração. Desta forma, é necessário refletir sobre cinco questões a respeito do sistema como base para a elaboração do FMEA (Souza, 2003, apud Carazas, 2011):

- Como pode falhar o componente (quais são seus modos de falha)?
- Quais são os efeitos destas falhas sobre o sistema?
- Quão críticos são estes efeitos?
- Como detectar a falha?
- Quais as medidas contra estas falhas (evitar, prevenir a ocorrência das mesmas ou minimizar seus efeitos)?

Por fim, na última coluna da tabela, podem-se adicionar notas esclarecedoras sobre os pontos abordados na tabela de análise.

A ênfase dessa análise é definir as consequências de um determinado modo de falha sobre a operação do sistema e fornece subsídios para definir a severidade da falha de alguns componentes sobre a segurança do sistema, indicando pontos onde há necessidade da utilização de componentes redundantes.

Dada a dificuldade da definição da taxa de falha associada ao componente, bem como da chance de ocorrência de um dado modo de falha, propõe-se a execução desta análise de criticidade de uma forma um pouco mais qualitativa, com o emprego do índice denominado de “Número de Prioridade de Risco”, ou simplesmente NPR.

Esse número é uma avaliação do denominado “risco associado com a ocorrência de um determinado modo de falha”. Considerando que a avaliação das consequências de uma falha é uma tarefa trabalhosa e que a própria avaliação da probabilidade de ocorrência de um dado modo de falha seja também uma tarefa complexa, as normas associadas com a análise de processos e projetos propõem o cálculo deste risco com o emprego do índice NPR. Este varia de 1 a 1000 sendo 1000 o mais crítico e 1 o menos crítico, sendo calculado pela relação:

$$\text{NPR} = S \times O \times D$$

onde:

S = Indicação da severidade das consequências associadas a um dado modo de falha, variando de 1 a 10;

O = Probabilidade de ocorrência de um dado modo de falha, variando de 1 a 10; e

D = Detecção, que avalia os meios de detectar o desenvolvimento de um modo de falha, permitindo a sua correção antes da ocorrência da falha, variando de 1 a 10.

Os modos de falha considerados críticos para a operacionalidade do sistema são aqueles que apresentam o índice NPR elevado. Para esses modos de falha, o projetista deve revisar o projeto ou o próprio processo de fabricação a fim de minimizar a ocorrência ou a severidade do mesmo, ou maximizar a sua detecção ainda em fase de desenvolvimento. O valor limite aceitável de NPR não é claramente definido em normas, de forma que a indústria automotiva usualmente utiliza o valor 125 como limite máximo aceitável para o NPR. Situações nas quais a severidade é igual ou maior que 7 e/ou a ocorrência é superior a 6 também devem ser reavaliadas.

Executar a análise do tipo FMEA exige pessoal especialmente preparado para esta função, pois além de dominar o conhecimento acerca do sistema (suas características, princípios de funcionamento e especificações), exige conhecimento dos conceitos relativos à confiabilidade, uma vez que as taxas e as probabilidades de falhas devem ser calculadas.

Finalmente, os métodos de identificação de riscos de natureza quantitativa são, em geral, usados para a avaliação quantitativa das frequências de ocorrência de falhas. Dentre os métodos dessa categoria, destaca-se a análise de árvore de falhas.

A análise de árvore de falhas (FTA - *Fault Tree Analysis*) é mais empregada pela indústria de eletrônicos, termonuclear, química e aeroespacial. A árvore de falhas é uma técnica dedutiva que está centrada em um evento particular acidental (falha) nomeado de evento topo, e proporciona um método para determinar as causas que o produzem. A grande vantagem que este método apresenta é que se podem obter tanto resultados qualitativos na procura de caminhos críticos quanto

quantitativos, em termos de probabilidades de ocorrência do evento topo calculada a partir das probabilidades de falha associadas às falhas dos componentes que influem no evento topo.

2.3.

Processo de análise de decisão

O processo de seleção de políticas de manutenção é similar ao processo de tomada de decisão em qualquer outro processo industrial ou comercial, ou seja, é necessário selecionar uma entre várias alternativas, aquela que melhor atende aos requisitos da atividade socioprodutiva, que podem ser expressos em termos quantitativos de custos, desempenho ou qualidade, entre outros. No caso da seleção de políticas de manutenção, deve-se buscar a minimização da probabilidade de falha do equipamento, mas as atividades de manutenção e as possíveis mudanças no projeto do sistema devem estar em sintonia com as atividades econômicas da empresa (em relação a investimentos coerentes). Dessa forma, a seleção da alternativa manterá o equilíbrio entre a minimização da probabilidade de falha e os custos das ações de manutenção, levando em consideração as próprias consequências da falha (objeto de estudo da análise de risco).

Frente à necessidade de tomar uma decisão de melhoria ou alteração da política de manutenção de uma empresa ou de um sistema, encontram-se os riscos e as incertezas. Esses riscos podem ser operacionais (que mudariam o comportamento normal do sistema); riscos às pessoas, já que a mudança na operação normal poderia gerar um cenário de falha desconhecido, no qual os operadores do sistema, na tentativa de resolver algum problema, poderiam desencadear uma consequência grave, incluindo a paralisação do sistema; e/ou riscos ao meio ambiente. É por isso que as decisões a serem tomadas têm que ser bem estruturadas através de um processo de decisão.

Segundo Schuyler (2002), a tomada de decisões em projetos é bem sucedida se caracterizada por dez etapas, dentre as quais destaca-se a quarta – desenvolvimento de um modelo de decisão específico para cada caso.

As etapas para o desenvolvimento de um processo de tomada de decisão em projeto são (Schuyler, 2002):

- Identificação das oportunidades de decisão;

- Definição do problema;
- Identificação das alternativas;
- Desenvolvimento do modelo de decisão;
- Quantificação dos critérios sobre a incerteza;
- Desenvolvimento do modelo de avaliação;
- Cálculo do valor esperado para cada alternativa;
- Reavaliação do problema;
- Aplicação da melhor alternativa;
- Análise complementar da decisão.

Da mesma forma, a filosofia do MIBR mostra um método para a tomada de decisão em manutenção que focaliza, principalmente, a redução dos riscos associados à ocorrência de uma falha. Segundo Khan e Haddara (2003), o planejamento da manutenção divide-se em duas etapas: (i) estimativa do tempo ótimo de manutenção e reavaliação; e (ii) estimativa dos novos riscos, introduzidos após a alteração do procedimento de manutenção.

O processo para a tomada de decisão pode ser estruturado pelos seguintes passos, em função da caracterização das opções possíveis para as ações de manutenção:

- Identificação da natureza do problema;
- Identificação das alternativas;
- Classificação dos problemas de decisão;
- Seleção do método de tomada de decisão;
- Solução ao problema de decisão;
- Planejamento da manutenção (aplicação da opção selecionada);
- Reavaliação do problema.

Cada uma dessas etapas é composta por uma série de atividades descritas a seguir.

2.3.1. Identificação da natureza do problema

Essa primeira etapa da solução do problema é necessária para uma seleção adequada do método de tomada de decisão. Envolve a identificação do tipo de problema entre as três principais classificações dos problemas de decisão: problemas estruturados, semiestruturados e não estruturados (Shimizu, 2001).

A primeira classificação, problemas bem estruturados, refere-se aos problemas de decisão chamados de bem definidos. São aqueles cuja definição e fases de operação para alcançar resultados desejados são bem claras e cuja repetição da execução é sempre possível, obtendo-se os mesmos resultados.

Os problemas de decisão semiestruturados são aqueles com operação bem conhecida, mas que possuem critérios ou fatores de comportamento variável, que podem influenciar no resultado. Como exemplo deste tipo de problema de decisão, pode-se citar a previsão de compras de peças de reposição para manutenção em um determinado período.

Nos problemas de decisão não estruturados, tanto cenários quanto critérios de decisão não estão fixados à priori, ou seja, existem diversas alternativas previstas, mas que podem ser substituídas de última hora. O exemplo mais adequado para este tipo de problema de decisão é a publicação de uma capa de revista semanal (Shimizu, 2001).

2.3.2 Identificação e análise das alternativas

Durante a operação normal de um sistema, não é normal sair à procura de problemas, operacionais ou não. Entretanto, podem surgir oportunidades que poderiam agregar valor ao ganho ou mesmo ao desempenho operacional, em função de um fator de oportunidade. O processo de criar ou identificar oportunidades da tomada de decisão é proativo (Schuyler, 2002).

Para a identificação destas oportunidades existem diversas técnicas, mas o objetivo é identificar no sistema: as suas fraquezas, os pontos fortes, as oportunidades e as ameaças em cada um dos diferentes cenários de operação. Esta análise é chamada de SWOT (sigla de *Strengths, Weaknesses, Oportunities, Threats*) (Schuyler, 2002).

A identificação das oportunidades para uma adequada tomada de decisão e seleção das melhores alternativas é o ponto mais importante nesse processo. Mesmo que as diferentes técnicas de identificação de oportunidades permitam modelar de forma preliminar o problema de decisão, na realidade operacional de sistemas complexos, como é o caso da manutenção de embarcações *offshore*, há incertezas e até receio em relação aos resultados de cada decisão em relação à aplicação de mudanças no sistema.

2.3.3 Seleção do método de tomada de decisão

Os problemas de decisão não podem apenas ser resolvidos pela aplicação de meios científicos. Deste modo, para definir um modelo de tomada de decisão, é necessário adotar o “modelo satisfatório” que a equipe de tomada de decisão selecione. Para a seleção de políticas de manutenção de embarcações *offshore*, os problemas poderão ser classificados em duas classes, em relação à sua natureza, que são: decisões com certeza, decisões com risco ou incerteza.

2.3.3.1 Decisões com certeza

Uma decisão com certeza é aquela na qual se sabe que estado de resultados será obtido. Como alternativa, pode-se pensar nela como um caso com um único estado de resposta. Os problemas de decisão sem risco, ou com certeza, podem ter várias alternativas de decisão (por exemplo, a forma de pagamento de um determinado produto) e vários critérios ou objetivos (exemplo, a necessidade do aumento do desempenho). Por se tratar de problemas sem risco, toda a informação relevante (ganhos ou resultados referentes a cada alternativa de decisão) é conhecida e o responsável pela decisão escolhe a alternativa que corresponde ao melhor resultado possível (Shimizu, 2001).

Esse tipo de decisão até pode ser aplicado a um sistema complexo, mas no caso específico da seleção de políticas de manutenção e das reformas na configuração do projeto da planta não podem, pois as mudanças nas políticas de manutenção envolvem risco.

2.3.3.2 Decisões com incerteza

Uma dos maiores desafios dos processos decisórios é a análise das alternativas e de suas consequências para as empresas. Realiza-se essa análise sob diversas condições, considerando-se as incertezas dos resultados e o risco que a empresa corre se não acertar a escolha.

A incerteza configura-se pela inexistência ou incompletude de informações suficientes e claras para os tomadores de decisão, que inviabilizam a objetividade das alternativas e a identificação clara de seus riscos.

Ao contrário, conhecendo-se qual é o problema e dispondo-se de um número de informações fundamentais, passíveis de serem analisadas, as chances de formulação de alternativas mais precisas aumentam e, com isso, são também maiores as chances de tomar a melhor decisão. A incerteza sobre acontecimentos futuros é uma característica de muitos modelos decisórios gerenciais. A incerteza de eventos em potencial é avaliada a partir de duas perspectivas: probabilidade de ocorrência e impacto.

A probabilidade representa a possibilidade de que um determinado evento ocorrerá, enquanto o impacto representa o seu efeito. A determinação do grau de atenção depende da avaliação de uma série de riscos que uma empresa enfrenta, sendo essa uma tarefa difícil e desafiadora.

Os gestores reconhecem que um risco com reduzida probabilidade de ocorrência e baixo potencial de impacto, geralmente, não requer maiores considerações. Por outro lado, um risco com elevada probabilidade de ocorrência e um potencial de impacto significativo demanda atenção considerável. As circunstâncias situadas entre esses extremos geralmente são difíceis de julgar. É importante que a análise seja racional e cuidadosa.

Geralmente, os gestores empregam técnicas qualitativas de avaliação se os riscos não se prestam à quantificação, ou se não há dados confiáveis em quantidade suficiente para a realização das avaliações quantitativas, ou, ainda, se a relação custo-benefício para obtenção e análise de dados não for viável. Tipicamente, as técnicas quantitativas conferem maior precisão e são utilizadas em atividades mais complexas e sofisticadas para complementar as técnicas qualitativas. O estabelecimento de termos comuns de probabilidade e do grau de impacto para serem adotados por toda a empresa e de termos específicos por categorias comuns de riscos facilita as avaliações de riscos que combinam técnicas qualitativas e quantitativas. Quando se dispõe de dados quantitativos, os níveis de exposição (alto, médio ou baixo) podem ser mensurados, multiplicando-se os impactos pela probabilidade de ocorrência dos eventos de riscos.

2.4

Considerações finais sobre o capítulo

Para fundamentar a proposição de um método baseado em MIBR para aperfeiçoamento do processo de tomada de decisão referente à manutenção de

balsas de serviço *offshore* de uma grande empresa brasileira do setor de petróleo, buscou-se neste capítulo sintetizar os conceitos fundamentais da análise de risco e teoria de decisão.

Diante de um problema com riscos e múltiplos objetivos, como no caso do planejamento de manutenção de balsas de serviço *offshore*, os problemas em torno de um processo decisório podem ser considerados complexos e, dessa forma, as técnicas para a tomada de decisão podem ser igualmente complexas. Esse subtema da dissertação será retomado em maior grau de profundidade no capítulo 3, a seguir.