



XXIII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

FI/GRC/03
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – XVI

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS EMPRESARIAIS E GESTÃO CORPORATIVA - GEC

ANÁLISE DE PROJETOS DE INVESTIMENTO BASEADA NO FMEA – *FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS*

Bernardo Salotto (*)
TAESA

Alexandre Fontes
TAESA

Abilio Cardoso
TAESA

RESUMO

A engenharia da confiabilidade é uma área extensa, a qual é utilizada em diversos ramos do mercado, como por exemplo, nas indústrias químicas, aviação, etc. Ao longo dos anos, os estudos e aplicações nessa área vêm se intensificando cada vez mais, motivado por diversos fatores como o aumento dos custos de manutenção e da complexidade dos equipamentos em geral relacionada ao constante avanço tecnológico.

O setor elétrico, além de enfrentar essas dificuldades, encontra-se em um processo de grande reestruturação devido à uma redução impactante das receitas através da implementação da Medida Provisória 579. Neste sentido, a engenharia da confiabilidade se torna uma grande aliada para que as empresas possam se adaptar a esse novo cenário, mantendo uma margem de lucro aceitável perante aos investidores e acionistas.

A análise de modos de falhas e efeitos, FMEA – Failure Modes and Effects Analysis, é uma das ferramentas utilizadas em análises de confiabilidades. Neste tipo de análise, são identificados os modos de falhas e seus respectivos efeitos para cada parte que compõem um equipamento ou um processo. Neste estudo, também é realizado uma análise de risco através de pontuações para os índices de Severidade, Ocorrência e Detecção. Através desse risco, é possível elencar os modos de falha do ponto de vista de maior risco e, portanto, elaborar planos de ação preventiva e/ou corretiva para manter os níveis de confiabilidade desejados.

Neste trabalho, é apresentado uma metodologia para análise de projetos de investimento baseada em FMEA com o objetivo de organizar todos os projetos de acordo com o risco. Assim, o investimento se torna mais otimizado, já que os projetos avaliados com maior risco para empresa serão evidenciados e terão prioridade perante aos outros.

Esta metodologia foi aplicada em uma das etapas do processo de Diagnóstico Anual para, dentre outros objetivos, realizar o levantamento das necessidades de investimento voltado ao processos de Operação e Manutenção da TAESA. Destaca-se que no processo de Diagnóstico realizado em 2014, 73% dos valores aprovados para os projetos de investimento relacionados aos processos de Operação e Manutenção tiveram sua análise realizada através da aplicação do FMEA.

PALAVRAS-CHAVE

Engenharia da Confiabilidade, Confiabilidade, FMEA, Investimento.

1.0 - INTRODUÇÃO

O Setor Elétrico brasileiro encontra-se em uma etapa de grande reestruturação após aprovação da Medida Provisória 579 que posteriormente foi convertida na Lei N° 12.783, de 11 de Janeiro de 2013 a qual foi responsável pela renovação das concessões de geração e transmissão com vencimento até 2017. Esta mudança representa uma nova realidade de revisão tarifária e, portanto, muitas empresas perderam um considerável volume de receita e precisam se adaptar a esse novo cenário.

Em contrapartida, o constante crescimento da demanda por energia e dos requisitos de segurança e qualidade dos sistemas de energia elétrica requerem constantes investimentos, tanto para modernizações das instalações já existentes, quanto para novas aquisições visando a expansão da rede. Neste sentido, a elaboração do orçamento de uma empresa para suportar seus processos de manutenção, operação e ampliação de suas instalações através de novas aquisições deve ser realizada de forma estruturada e adequada, considerando todos os aspectos técnicos, regulatórios e financeiros, tornando-se essencial buscar a excelência operacional dos seus processos, frente aos novos desafios do setor.

Neste sentido, de forma a organizar e priorizar os investimentos, a ferramenta FMEA – Failure Mode and Effect Analysis possui um grande potencial devido às características de identificação e quantificação das falhas e dos riscos associados em um processo, por exemplo.

2.0 - FMEA – FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS

A ferramenta FMEA é principalmente uma análise qualitativa e teve seu início a partir da década de 50 em sistemas de controle de voo no setor da aviação. Além disso, foi uma das primeiras técnicas sistemáticas e estruturadas para análises de falhas com o objetivo de determinar os efeitos prováveis de cada falha visando à melhoria no projeto, produto ou processo. [1] [2]

Desta forma, todos os possíveis modos potenciais de falha e os seus respectivos efeitos são analisados de forma a obter um plano de ação corretiva e/ou preventiva para eliminar ou reduzir a probabilidade de ocorrência de falhas.

De acordo com [1], uma observação importante é que a identificação dos modos de falha deve ser feita de forma criteriosa. Devem ser analisados principalmente aqueles que causam falha funcional, considerando, por exemplo, registros de falhas já ocorridos anteriormente e dados estatísticos. Além disso, no levantamento de todos os dados na análise, devem-se evitar informações genéricas que podem comprometer o resultado final da análise.

Na Tabela 1, é apresentado um formulário para análise FMEA. Nesta análise, são necessárias as seguintes informações [1]:

- **Processo/Produto:** Identificação do processo ou produto a ser analisado;
- **Participantes/Data:** Registro das pessoas envolvidas na análise;
- **Dados de Registro:** Informações relevantes de identificação como número de série, setores responsáveis pela execução, número da versão do FMEA, etc.
- **Componente/Etapas do Processo:** Todas as partes do Produto ou Processo que foi designado para a análise FMEA;
- **Funções:** Descrição das funções desempenhadas por cada componente/Etapa;
- **Modo de Falha:** Possíveis modos de falhas relacionados a cada função;
- **Efeito(s) da Falha:** Descrição das Consequências de cada modo de falha;
- **Severidade:** Índice correspondente à gravidade do efeito da falha;
- **Causas:** Motivo da ocorrência do modo de falha;
- **Ocorrência:** Índice correspondente à probabilidade de ocorrência de cada causa do modo de falha baseado em dados estatísticos, informações de fabricantes, histórico de manutenção, etc;
- **Meios de Detecção:** Descrição das possíveis maneiras de se detectar ou prevenir o surgimento da falha;

- **Detecção:** Índice quantitativo referente a capacidade de Detecção baseado nos meios de detecção informados;
- **RPN – Risk Priority Number:** Número de Prioridade de Risco obtido pela multiplicação do índices de Severidade, Ocorrência e Detecção.
- **Ações Preventivas/Corretivas:** Ações que devem ser realizadas com o objetivo de se reduzir os riscos atrelados a cada modo de falha.

Tabela 1 – Formulário FMEA [1]

Processo/Produto:		Participantes:				Dados de Registro:		FMEA PRODUTO ()	
		Data:						FMEA PROCESSO ()	
Componente/ Etapas do Processo	Funções	Modo de Falha	Efeito(s) da Falha	Severidade	Causas	Ocorrência	Meios de Detecção	Detecção	Ações Corretivas/Preventivas

Os campos de Severidade, Ocorrência e Detecção mencionados anteriormente, fazem parte da análise de risco e de criticidade do FMEA. Desta forma, são índices estabelecidos através de números, geralmente em uma escala de 1 a 10, com o objetivo de priorizar a atuação preventiva e/ou corretiva sobre os modos de falhas do processo ou produto. Portanto, através do RPN calculado, é possível verificar quais pontos devem ser tratados, de forma prioritária, para manter ou aumentar o nível de confiabilidade do produto ou do processo sob análise.

Na Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4, são apresentadas exemplos de escalas para esses índices que foram retirados de [1].

Tabela 2 – Índices de Severidade [1]

Severidade	Índice
Marginal: A falha no sistema não é perceptível. Pouco relevante.	1
Baixa: A falha causa leves variações no desempenho do processo/produto.	2
	3
	4
Moderada: A falha causa razoáveis impactos no desempenho do processo/produto.	5
	6
Alta: A falha causa impactos relevantes no desempenho do processo/produto tornando-o inoperável.	7
	8
Muito Alta: A falha causa risco para segurança operacional e/ou descumprimento de requisitos legais.	9
	10

Tabela 3 – Índices de Probabilidade de Ocorrência [1]

Ocorrência	Índice	Taxa de Falha
Remota: A falha é improvável.	1	< 1 em 10^6
Baixa: Poucas falhas.	2	1 em 20.000
	3	1 em 4.000
Moderada: Falhas Ocasionais.	4	1 em 1.000
	5	1 em 400
	6	1 em 80
Alta: Falhas repetitivas.	7	1 em 40
	8	1 em 20
Muito Alta: Falhas quase que inevitáveis.	9	1 em 8
	10	1 em 2

Tabela 4 – Índices de Detecção [1]

Detecção	Índice
Muito Alta: A falha é certamente detectada.	1
	2
Alta: Boa chance de detectar a falha	3
	4
Moderada: 50% de chance de detecção da falha.	5
	6
Baixa: Detecção da falha não é provável.	7
	8
Muito Baixa: Detecção da falha é muito improvável.	9
Absolutamente indetectável: Detecção da falha não é possível.	10

3.0 - ESTRUTURA ORGANIZACIONAL – DIRETORIA TÉCNICA OPERACIONAL - TAESA

A Diretoria Técnica Operacional – DTO é responsável pela manutenção, operação e gestão dos ativos da TAESA com o objetivo de garantir a máxima disponibilidade dos ativos, assegurando a segurança de pessoas e meio ambiente, visando obter o retorno financeiro desejado pela empresa.

A DTO está dividida em sete gerências conforme apresentado na Figura 1. A seguir, são relacionadas as principais responsabilidades de cada gerência:

- **Gerência de Gestão de Ativos:** Responsável pela gestão do OPEX e CAPEX da DTO, gestão dos processos de manutenção e interação com outros Agentes, ONS e Órgãos reguladores do setor elétrico.
- **Gerência de Engenharia de O&M:** Responsável pelas especificações e estudos técnicos, diretrizes de manutenção, apoio técnico às Gerências de Manutenção e melhorias das instalações existentes.

- **Gerência de Operação:** Responsável pela Operação das instalações da TAESA e integração com outros Agentes e ONS.
- **Gerências de Manutenção:** Responsável local pelos ativos da TAESA e pela execução das manutenções preventivas, preditivas e corretivas, de acordo com as diretrizes da empresa.



Figura 1 – Estrutura Organizacional – Diretoria Técnica Operacional (DTO) - TAESA

4.0 - METODOLOGIA DESENVOLVIDA

4.1 ADAPTAÇÃO DO FMEA

A metodologia desenvolvida para análise dos projetos de investimento da TAESA foi desenvolvida a partir da adaptação dos conceitos de Severidade, Ocorrência e Detecção presentes no FMEA tradicional, considerando o ambiente de análise de projetos da empresa. [3]

Assim, foram definidos os seguintes índices:

- **Severidade:** Analogamente ao conceito original e considerando as consequências referentes à não realização de cada projeto, os níveis de Severidade foram definidos com base nos seguintes critérios:
 - ✓ Valores de desconto de Parcela Variável – PV;
 - ✓ Aplicação de penalidades a nível regulatório;
 - ✓ Custo de manutenção;
 - ✓ Risco para pessoas ou meio ambiente.

Na Tabela 5, são apresentados exemplos de escala que pode ser adotada para os índices de Severidade.

Tabela 5 – Índices de Severidade

Severidade	Índice
Nenhuma	1
Pequenos atrasos/retrabalhos	2
Defeito ou falha sem incidência de PV – Manutenção com custo menor que R\$ 100.000,00	3
Defeito ou falha sem incidência de PV – Manutenção com custo maior que R\$ 100.000,00	4
Incidência de PV < R\$ 100.000,00	5
Incidência de PV > R\$ 100.000,00	6
Incidência de PV > R\$ 1.000.000,00 ou ocorrência de sinistro	7

Ocorrência de repercussão regional ou risco de aplicação de penalidade moderada.	8
Ocorrência de repercussão nacional ou risco de aplicação de penalidades severas	9
Risco para pessoas ou meio ambiente	10

- **Ocorrência:** Analogamente ao conceito original, os níveis de Ocorrência foram definidos com base nos quantitativos de ocorrências observados na TAESA, no Brasil e no exterior. Para o desenvolvimento feito pela equipe da TAESA, utilizou-se na construção da tabela de Ocorrências, o número de ocorrências efetivas que tenham sido registradas. Em outras palavras, o índice é cadastrado para cada projeto/necessidade de acordo com o aparecimento efetivo de outros projetos/necessidades iguais ou similares no âmbito empresarial, nacional e internacional. Assim, a pontuação é diretamente proporcional à quantidade de ocorrências de projetos/necessidades similares e/ou iguais, ou seja, a relevância de cada projeto fica bem representada no risco calculado no final da análise.

Na Tabela 6, são apresentados exemplos de escala que pode ser adotada para os índices de Ocorrência.

Tabela 6 – Índices de Ocorrência

Ocorrência	Índice
Improvável de Ocorrer	1
Menos de 10 casos registrados no setor elétrico no Brasil ou exterior	2
	3
Mais de 10 casos registrados no setor elétrico no Brasil	4
	5
Um caso registrado na TAESA	6
	7
Até 3 casos registrados na TAESA	8
	9
Mais de 3 casos registrados na TAESA	10

- **Latência:** refere-se à percepção da possibilidade de falha/sinistro/ocorrência tendo como base o histórico de casos e experiência a respeito dos riscos existentes. Este índice é a grande adaptação do FMEA tradicional para a análise dos projetos de investimentos da TAESA, substituindo o índice de Detecção em virtude do objetivo da análise. Esta alteração justifica-se pelo fato de que na análise de projetos de investimento é necessário que o risco calculado (RPN) seja composto de um fator que quantifica a iminência de risco que cada projeto oferece à saúde financeira e corporativa da empresa, de acordo com a percepção da equipe multidisciplinar, responsável pela avaliação dos projetos.

Tabela 7 – Índices de Latência

Latência	Índice
Improvável de Ocorrer	1
	2
	3
	4
Latente	5
Latência Alta	6
	7
	8
	9
	10

Cabe destacar que as tabelas acima apresentam exemplos de escala que podem e devem ser adaptadas à regra de negócio de cada empresa.

4.2 ESTRUTURAÇÃO DO PROCESSO DE ANÁLISE

O processo de análise de projetos de investimentos através desta metodologia ocorre através da formação de uma equipe multidisciplinar utilizando o FMEA. A equipe multidisciplinar é um fator decisivo para o sucesso dessa análise, pois a qualidade e aderência do resultado depende diretamente do nível de conhecimento técnico e experiência da equipe avaliadora em diversas áreas que envolvem o setor, como por exemplo, assuntos técnicos, regulatórios e segurança.

Desta forma, cada projeto é classificado dentro dos critérios de Severidade, Ocorrência e Latência. Em seguida, é calculado o risco de cada projeto (RPN) através da multiplicação desses três índices. Ao final da análise, a lista de projetos pode ser apresentada de forma ordenada, desde o projeto de maior risco até o projeto de menor risco para a empresa.

Após esse processo de priorização, o próximo passo é relacionar o RPN calculado com os valores de cada projeto. Assim, a partir de um teto estipulado para investimento em novos projetos, é possível determinar até que ponto a realização é viável, ou seja, chega-se ao RPN de corte fazendo com que os investimentos se tornem otimizados do ponto de vista de relevância e atenuação dos riscos para a empresa.

Os outros projetos abaixo desse RPN de corte, inicialmente ficam na base de dados e aguardando oportunidade de execução. Entretanto, ao longo do tempo, os índices de Severidade, Ocorrência e Latência podem sofrer alterações para esses tipos de projetos. Assim, em análises posteriores, projetos que ficaram abaixo do RPN de corte, podem se tornar prioritários.

5.0 - RESULTADOS

Esta metodologia foi aplicada no Processo da TAESA que envolve a Elaboração de Diagnóstico de Operação e Manutenção da Diretoria Técnica Operacional. Este processo consiste na elaboração de um plano de trabalho plurianual bem como na análise e elaboração do orçamento do capital necessário para manter ou melhorar os bens físicos (OPEX) e investimentos em novos projetos (CAPEX).

Desta forma, a metodologia foi aplicada somente nas análises dos novos projetos e abrangeu todos os investimentos listados pelas Gerências de Manutenção e Operação da TAESA.

Do total dos projetos plurianuais para o ano 2015, 14% encontravam-se em andamento por se tratarem de requisitos regulamentares, melhorias ou reforços que já haviam sido aprovados antes da finalização do desenvolvimento dessa metodologia. Outros 13% foram classificados como estratégicos ou estavam vinculados a

atendimento a emergências no sistema da TAESA e portanto não foram analisados segundo essa metodologia. Os 73% restantes dos projetos de CAPEX foram avaliados com sucesso.

6.0 - CONCLUSÃO

Dessa forma, conclui-se que a metodologia ora apresentada, possibilita a realização de uma análise técnica de projetos de investimento calcada em uma sistemática e parâmetros que proporcionam uma visão clara da necessidade e impacto no caso da não realização, bem como a visão global qualitativa, através dos RPN's calculados e consequentemente da redução dos mesmos no caso da realização total ou parcial de cada projeto.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. R. B. Lafraia, *Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade*, Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- [2] J. L. O. Raposo, "Manutenção Centrada em Confiabilidade Alicada a Sistemas Elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão," em *Dissertação de Mestrado - Universidade Federal da Bahia*, Salvador, 2004.
- [3] Transmissora Aliança de Energia Elétrica S.A - TAESA, *Procedimento de Processos - Elaboração de Diagnóstico de Operação e Manutenção da Diretoria Técnica Operacional*, Rio de Janeiro, 2014.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Bernardo Pereira Salotto dos Santos – Engenheiro elétrica graduado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, em 2013. Trabalhou na Gerência de Estudos Especiais no ONS durante 1 ano. Desde 2013 trabalha na TAESA, na área de Planejamento e Análise da Manutenção na Gerência de Gestão de Ativos pertencente à Diretoria Técnica Operacional.

Abilio José da Rocha Reis Cardoso - Engenheiro eletricista graduado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, em 2009. Possui MBA em Gestão Estratégica da Produção e Manutenção na Universidade Federal Fluminense (UFF) em 2014. Atuou durante 3 anos e 6 meses como Engenheiro Eletricista na Gerência de Engenharia da empresa Omega - Operação e Manutenção de Linhas de Transmissão S.A.. Desde Maio de 2013 trabalha na TAESA, na área de Planejamento e Análise da Manutenção na Gerência de Gestão de Ativos pertencente à Diretoria Técnica Operacional.

Alexandre Jose Marqueti Fontes - Engenheiro de Produção Eletricista, graduado pela FEI - Faculdade de Engenharia Industrial de São Bernardo do Campo em 1993, com especialização em Gestão da Qualidade Total em 2000 pela Universidades Claretianas e MBA em Gestão Empresarial pela FGV em 2011. Atuou nas áreas de geração e transmissão da CESP, até 1998. Em 1998 passou a atuar na área de distribuição na Elektro, até 2003. Retornou a área de transmissão em abril de 2003 onde atuou, dentre outros, como Gerente Técnico na ETEO - Empresa de Transmissão de Energia do Oeste e UNISA – União de Transmissoras de Energia Elétrica Holding S.A.. Atualmente, na TAESA – Transmissora Aliança de Energia Elétrica S.A., atua como Gerente de Gestão de Ativos, pertencente a Diretoria Técnica Operacional.