

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA

CRYSTIANE AYUMI KOGA

ESTUDOS DE CONFIABILIDADE EM PROJETOS DE SUBESTAÇÕES

MONOGRAFIA

CURITIBA
2017

CRYSTIANE AYUMI KOGA

ESTUDOS DE CONFIABILIDADE EM PROJETOS DE SUBESTAÇÕES

Trabalho de Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia de Confiabilidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano.

CURITIBA
2017

Crystiane Ayumi Koga

ESTUDOS DE CONFIABILIDADE EM PROJETOS DE SUBESTAÇÕES

Esta Monografia foi julgada e aprovada como requisito parcial para a obtenção do Título de Especialista em Engenharia de Confiabilidade, do curso de Engenharia da Confiabilidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 15 de fevereiro de 2017.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia da Confiabilidade

ORIENTAÇÃO

Carlos Henrique Mariano, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Carlos Henrique Mariano, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcelo Rodrigues, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Dr. Carlos Henrique Mariano pela orientação e dedicação ao trabalho proposto.

Agradeço a todos os professores pelo conhecimento que nos transmitiram e pelo apoio prestado.

Aos colegas de sala pela amizade, ajuda e força ao longo do curso.

" Só existem dois dias no ano que nada pode ser
feito. Um se chama ontem e o outro se chama
amanhã, portanto hoje é o dia certo para amar,
acreditar, fazer e principalmente viver."

Dalai Lama

RESUMO

KOGA, Crystiane A. Estudos de confiabilidade em projetos de subestações. 2017. 53 f. Monografia (Especialização) – Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

A necessidade crescente do fornecimento de energia gera carência de usinas geradoras de energia, distribuição e transmissão de energia, essa carência traz a necessidade da rapidez na instalação de novos empreendimentos, como por exemplo instalação de novas subestações. Fatores como falta de comunicação, falta de especificações, falta de suporte técnico são algumas das causas dos atrasos no andamento de obras em questão. Em busca da otimização na implantação de novas subestações os estudos de confiabilidade foram escolhidos com o intuito de analisar melhor os efeitos dos atrasos ocorridos. Para melhor entendimento do tema, estudos e revisão sobre confiabilidade foram realizados. Projetos de subestações da empresa X foram escolhidos para estudo, sendo levantados dados de cumprimento de prazos na entrega de projetos entre os anos 2011 à 2016. A distribuição de Weibull do *software* da Reliasoft foi escolhido como plataforma para as devidas análises. Com o software foi possível obter resultados como confiabilidade, probabilidade de falha, taxa de falha dos projetos. Pelos resultados nota-se que a confiabilidade da entrega dos projetos diminui com o aumento do tempo final da missão e, a probabilidade de falha sendo um valor complementar a confiabilidade seu valor aumenta.

Palavras-chave: Confiabilidade, Subestações, Contratos aditivos.

ABSTRACT

KOGA, Crystiane A. Reliability Studies in Substation Projects. 2017. 53 f. Monografia (Especialização) – Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

The growing need for energy supply generates shortages of power plants, distribution and transmission of energy, this lack necessitates the rapidity in the installation of new enterprises, such as substations. Factors such as lack of communication, lack of specifications, lack of technical support are some of the causes of delays in the progress of works in question. In order to optimize the implementation of new substations reliability studies were chosen with the purpose of analyzing the effects of delays in the delivery of substation projects. For a better understanding of the subject, studies and reliability review were performed. Projects of substations of company X were chosen for study. Being collected data of fulfillment of deadlines in the delivery of projects between the years 2011 to 2016. The Weibull distribution of Reliasoft's software was chosen as platform for the due analyzes. With the software it was possible to obtain results such as reliability, probability of failure, failure rate of projects. The results show that the reliability of project delivery decreases with the increase in the final time of the mission, and the probability of failure being a complementary value to reliability increases its value.

Keywords: Reliability, Substations, Additive contracts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Inclinação Distribuição de Weibull	23
Figura 2 Dados em Weibull + +.....	25
Figura 3 – Gráfico Confiabilidade	27
Figura 4 – Cálculo de confiabilidade.....	28
Figura 5 – Gráfico Probabilidade de Falha	28
Figura 6 – Cálculo Probabilidade de Falha	29
Figura 7 – Gráfico Função densidade de Probabilidade	30
Figura 8 – Gráfico Taxa de falha	31
Figura 9 – Cálculo Taxa de falhas.....	31
Figura 10 - FTA – Árvore de falha genérica	41
Figura 11 – Formulário FMEA de Projeto	43
Figura 12 – Eventos que abordam o FMEA de Processo.....	48
Figura 13 – Formulário FMEA de Processo.....	49
Figura 14 – Preenchimento do formulário de FMEA de Processo.	50
Figura 15 – Ciclo PDCA.....	51
Figura 16 – Diagrama de Ishikawa	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Projetos com aditivo/sem aditivo	25
Tabela 2 – Resultados obtidos	32
Tabela 3 – Grau de severidade.....	44
Tabela 4 – Grau de Ocorrência	45
Tabela 5 – Grau de Detecção.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	TEMA	13
1.1.1	Delimitação do Tema.....	13
1.2	PROBLEMA.....	13
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo Geral.....	14
1.3.2	Objetivos Específicos.....	14
1.4	JUSTIFICATIVA	15
1.5	MÉTODO DE PESQUISA	15
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE	17
2.1	MÉTRICAS DE CONFIABILIDADE	18
2.1.1	Função distribuição acumulada.....	18
2.1.2	Função densidade de probabilidade	19
2.1.3	Função Confiabilidade	19
2.1.4	Taxa de falha.....	20
2.1.5	Tempo médio até a falha – MTTF	20
2.2	DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL	21
3	MODELO DE SIMULAÇÃO	24
3.1	CONFIABILIDADE EM PROJETOS DE SUBESTAÇÕES	24
4	RESULTADOS.....	27
5	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS	35
	APÊNDICE A – Ferramentas de Qualidade.....	40

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, industrial geram grande demanda no setor de energia, criando a necessidade constante de aumento na geração, distribuição e transmissão de energia.

O fornecimento de energia é feito através de usinas, subestações, linhas de transmissão e linhas de distribuição.

A geração de energia é produzida em usinas que utilizam diversos princípios para obtenção de energia, as usinas podem ser hidrelétricas, termoelétricas, solar, eólica, nuclear, biomassa, geotérmica, maremotriz. A tensão gerada nas usinas, independentemente de sua fonte, nem sempre é suficiente para que essa energia seja transmitida até seus centros de consumo, isso ocorre devido as perdas durante a transmissão. Quanto menor a corrente e maior a tensão menor será a perda, mas nem sempre os geradores atendem essas condições, então transformadores são postos entre as unidades geradoras e as linhas de transmissão, que elevam a tensão e abaixam a corrente. Conforme a energia se aproxima dos centros de consumo passam por estações de abaixamento de tensão, as subestações, que através de transformadores abaixadores reduzem as tensões das linhas de transmissão, porém ainda com valor mais elevado que certas unidades consumidoras, sendo necessário transformadores de distribuição antes do centro consumidor (Tecnogera, 2014).

Para atender à demanda de consumo de energia elétrica é necessária a constante instalação de novos empreendimentos de forma eficiente para evitar atrasos e falhas no sistema distribuição de energia. Todas as etapas do fornecimento de energia existem fases de definição do porte do empreendimento, análise de demanda, projeto, fabricantes, implantação, testes.

Existem diversos fatores que influenciam negativamente no andamento de uma obra, como falta de comunicação, falta de especificações, falta de suporte técnico, licenças ambientais, acréscimos de serviços.

Para a busca da otimização independente da área são necessárias ferramentas que quantificam os efeitos das falhas encontradas.

Uma saída promissora para diminuir problemas com prazos são a identificação dos fatores que influenciam no andamento e finalização do trabalho através da análise das falhas. “A análise das falhas é um método utilizado para prevenir falhas e analisar os riscos de um processo, através da identificação de causas e efeitos para identificar as ações que serão utilizadas para inibir as falhas.” (MEIRE, 2012).

A falha leva a um alto custo de produção, baixa confiabilidade, baixa disponibilidade e tem um impacto direto no desempenho da empresa.

Para verificação de como essas falhas estão influenciando no fornecimento desses empreendimentos utiliza-se os estudos de confiabilidade, como confiabilidade de serviços, taxa de falhas, função densidade de probabilidade, função distribuição acumulada.

Propõe-se analisar o comportamento das falhas, atrasos, em projetos de subestações e quais são as ações indicadas para resolução de tal problema.

1.1 TEMA

Determinados problemas apresentam uma solução ótima quando ferramentas certas são utilizados de maneira eficiente. Para verificação de conformidades e não conformidades existem modelos estatísticos como a confiabilidade de serviços.

1.1.1 Delimitação do Tema

A análise detalhada das etapas de projeto pode reduzir e prevenir falhas de projetos futuros. A confiabilidade pode desempenhar esse papel muito bem, dados como a densidade dos tempos de atraso, confiabilidade e não confiabilidade, densidade acumulada, taxa de falha é possível verificar como isso prejudica o andamento e desenvolvimento de projetos de subestações. Para a análise de efetividade da ferramenta escolhida será utilizado dados de projeto de subestações executados de 2011 até 2016 pela empresa X.

1.2 PROBLEMA

Grandes, médias ou pequenas empresas que prestam serviços sofrem de problemas de muitas contratuais devido a prazos não cumpridos. Esses atrasos podem gerar atrasos que influenciam no andamento e fechamento de obras em efeito dominó.

Empreendimentos como subestações não são diferentes, a necessidade exige rapidez na execução das soluções, mas existem falhas que surgem ao longo do empreendimento, como: modificação das especificações (relés, disjuntores, seccionadoras), contratante pode querer usar lógicas diferentes, mudança de equipamento, troca do avaliador do projeto, falta de suporte técnico dos fornecedores de equipamentos, falta de licença ambiental.

Alterações geram atrasos que resultam em multas contratuais, aditivos de dias, aumento de horas trabalhadas, falta de disponibilidade dos funcionários envolvidos.

1.3 OBJETIVOS

Para aplicação do modelo escolhido é necessário o estabelecimento de metas. Estas podem ser resumidas a um objetivo principal e objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal é fazer a modelagem dos dados de subestações para melhor visualização dos problemas enfrentados na conclusão ou ampliação de subestações.

1.3.2 Objetivos Específicos

Do objetivo geral, e após a realização de uma revisão bibliográfica desdobram-se as seguintes metas a serem atingidas:

- Triagem dos dados, considerando projetos similares para estudo;
- Listar projetos com seus respectivos aditivos de dias de atrasos ou quando não há atrasos;
- Apresentação das métricas do modelo encontrado;
- Ajustes no software da Reliasoft utilizando a distribuição de Weibull;
- Analisar e comparar resultados obtidos com a simulação;
- Concluir estudo através dos resultados obtidos na simulação na plataforma escolhida.

1.4 JUSTIFICATIVA

Diversas vezes procura-se o “culpado” para atrasos ocorridos no decorrer da concepção e execução de obras, mas essas falhas pontuais de um único empreendimento acabam sendo esquecidas assim que se concretiza o projeto trabalhado, possibilitando brechas para os mesmos futuros erros em outros projetos.

Esses atrasos são melhor identificados quando se faz os estudos sobre os casos recorrentes, assim é possível justificar as medidas necessárias a serem tomadas. Eles podem ser minimizados e até encerrados utilizando as ações certas nas causas pré-determinadas através de análises de falha de projeto, controlando o processo e melhorando as tomadas de decisões.

A utilização da ferramenta correta melhora a qualidade da execução, das etapas do processo e diminuem os atrasos e conseqüentemente diminui possíveis aditivos.

Conhecendo todas as informações cria-se cronogramas mais confiáveis e melhor abordagem nas etapas que causam maiores transtornos no processo, resultando em aumento da confiabilidade no produto.

1.5 MÉTODO DE PESQUISA

Para atingir o objetivo proposto, sugere-se que sejam seguidas as seguintes etapas:

Etapa 1 – Separar projetos similares para estudo.

Etapa 2 – Listando as causas e conseqüências dos atrasos (em dias).

Etapa 3 – Realizar estudo do comportamento de subestações em sua concepção, através das amostras selecionados (anos 2011 a 2016) da empresa X.

Etapa 4 – Transcrever o comportamento observado em informações a serem inseridas na plataforma escolhida.

Etapa 5 – Simular na plataforma escolhida o comportamento das falhas levando em consideração os dados coletados.

Etapa 6 – Analisar o comportamento das curvas geradas pelo *software* verificando seus pontos críticos, definindo assim os fatores que influenciam no andamento e finalização dos projetos estudados.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é apresentado e estruturado nos seguintes capítulos:

No capítulo 1 estão apresentadas as considerações iniciais, tema, delimitação do tema, problemas, os objetivos do trabalho, justificativas, métodos de pesquisas e estrutura do trabalho.

No capítulo 2 contém a fundamentação teórica para desenvolvimento do trabalho, apresentando os conceitos de engenharia de confiabilidade e suas métricas, e conceito e métrica da distribuição de Weibull. Conceitos base para a análise dos atrasos na entrega de projetos de subestações.

No capítulo 3 é proposto um modelo de simulação baseado nas definições de confiabilidade utilizando a distribuição de Weibull e apresentado os dados levantados na empresa em estudo. Dados relacionados aos aditivos de dias de atraso na entrega de projetos de subestações.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos através da simulação no *software* escolhido, Weibull ++ da Reliasoft. Resultados apresentados através de gráficos e matematicamente pelo software.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho e sugestões de melhorias e estudos futuros.

2 ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

A confiabilidade é utilizada para análises de desempenho, qualidade de processos, produção, sistemas de forma geral, possibilitando a otimização do objeto em estudo sob condições específicas em determinado período de tempo.

Atrasos em projetos de subestações são consideradas como falhas e para dimensionar a gravidade que essas falhas podem causar a confiabilidade possibilita melhor visualização dos problemas enfrentados.

A confiabilidade é a probabilidade em que um sistema desempenha sem falhas a função a qual foi designada a fazer por um determinado tempo sob condições específicas.

Falha é definida como o evento ou o estado de inoperância de um sistema de produção que não executa a função para a qual foi especificado. Assim, pode-se também definir confiabilidade como a probabilidade do evento falha de um sistema produtivo não ocorrer antes do tempo t (FAGUNDES et al, 2011 apud LAFRAIA, 2001).

A confiabilidade pode ser aplicada em diversos objetos, como engenharia, qualidade, desenvolvimento de produtos, manutenção, linhas de produção e são diferentes em cada situação.

Segundo a Associação brasileira de análise de risco, segurança de processos e confiabilidade “A Engenharia de Confiabilidade é uma área de estudo que tem o objetivo de avaliar e otimizar a confiabilidade de sistemas através de técnicas oriundas da probabilidade e estatística”. O foco da otimização de produtos ou processos proporcionam melhor desempenho e com menor custo. Para engenharia de confiabilidade é necessária uma base sólida e confiável dos dados em estudo.

A confiabilidade por ser considera uma probabilidade que apresenta valores entre 0 a 1 e é definida como função de um período de tempo. Teorias de probabilidade podem ser aplicados em cálculos de confiabilidade.

Suas principais métricas são: função confiabilidade, taxa de falha, tempo médio até falha, função densidade de probabilidade, função distribuição acumulada.

Segundo Pinto (2004), “as expressões matemáticas que definem a função confiabilidade dependem diretamente do tipo de distribuição estatística a que os tempos para falha estejam associados. Assim, podem existir funções de confiabilidade que se enquadram como distribuições exponenciais, normais, log-normais, Weibull, Poisson”. Para o presente trabalho será utilizado a distribuição estatística de Weibull.

A confiabilidade fornece dados quantitativos para suporte a análises qualitativas de falha, essas duas formas são definidas como:

Qualitativa: Não tem intuito de obter números como resultado, é exploratória. Obtêm-se aspectos subjetivos, de maneira espontânea.

Quantitativa: Mensura e permite testes de hipóteses, já que seus resultados são mais confiáveis e menos passíveis de erros.

Para garantir a confiabilidade exigida devemos adotar ações preventivas ou corretivas para assegurar que as falhas não ocorram. Podemos destacar alguns métodos de análise de falhas e análise da função confiabilidade:

- Análise por Árvore de Falhas (FTA – “*Faut Tree Effect Analysis*”);
- Análise de Efeitos e Modos de Falha (FMEA - “*Failure Mode and Effect Analysis*”);
- 5 por quês;
- Diagrama de Ishikawa;
- PDCA - *PLAN-DO-CHECK-ACTION*;
- Diagrama de Pareto.

Após um entendimento dos conceitos é de suma importância entender como será aplicada aos dados obtidos pela análise da empresa

2.1 MÉTRICAS DE CONFIABILIDADE

A confiabilidade utiliza-se das bases de probabilidade, sendo algumas delas descritas a seguir.

2.1.1 Função distribuição acumulada

É a probabilidade de a variável aleatória X assumir valores menores ou igual a t , onde t é um número real. A função distribuição acumulada (CDF - *Cumulative Distribution Function*) nada mais é que uma representação da probabilidade de falha no intervalo de tempo $(0,t]$, sendo representada por $F(t)$, assim temos:

$$F(t) = P(X \leq t)$$

$$F(t) = \int_0^t f(x) \cdot dx$$

2.1.2 Função densidade de probabilidade

O comportamento probabilístico de uma variável aleatória contínua, ou seja, uma função cujo valor é real e pode assumir qualquer valor numérico em um determinado intervalo, é descrito pela sua função densidade de probabilidade.

A Função densidade de probabilidade (pdf - *Probability Density Function*) é uma função $f(x)$ e associa os valores de X com a probabilidade de cada um deles ocorrer, e necessita atender os seguintes requisitos:

i. $f(x) \geq 0$, para $a < x < b$

ii. $\int_a^b f(x) \cdot dx = 1$

Os valores de a e b podem ser, respectivamente, $-\infty$ e ∞ .

A função $f(x)$ representa apenas a densidade no ponto x .

2.1.3 Função Confiabilidade

A confiabilidade é a probabilidade de funcionamento sem falhas por um período de tempo t , designada por $R(t)$, ou seja:

$$R(T) = \Pr(T > t), \text{ onde } t > 0 \tag{1}$$

A probabilidade de falha, $F(t)$, é o complemento de $R(t)$, ou seja, é a probabilidade de que a falha ocorra num tempo menor ou igual a t .

$$F(t) = 1 - R(t) \tag{2}$$

$$F(t) = \Pr(T \leq t) \tag{3}$$

Lê-se: $F(t)$ é a probabilidade de que um evento T ocorra no intervalo de tempo $[0; t]$.

Substituindo a fórmula de probabilidade de falha na equação de confiabilidade, tem-se:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(x).dx = \int_t^{\infty} f(x).dx, \text{ sendo } t > 0 \quad (4)$$

Considerando que existem n_0 unidades idênticas em funcionamento submetidas a um teste durante intervalo de tempo $[t-\Delta t, t]$ e $n_f(t)$ unidades falharam e $n_s(t)$ unidades sobreviveram, tem-se que $n_f(t) + n_s(t) = n_0$. A confiabilidade é baseada na probabilidade acumulada de sucesso, ou seja:

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_f(t) + n_s(t)} = \frac{n_s(t)}{n_0} \quad (5)$$

A função confiabilidade é também chamada função de sobrevivência e está sempre decrescendo com o tempo, pois as probabilidades de sobrevivência sempre diminuem de acordo com a taxa de utilização, desgaste e fadiga.

2.1.4 Taxa de falha

A taxa de falha é a quantidade de risco associada a uma unidade no tempo t , a probabilidade da unidade vir a falhar no intervalo $(t, t + \Delta t)$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (6)$$

$f(t)$ → É denominada função densidade de probabilidade.

A taxa de falha é dada também por:

$$\lambda = \frac{N}{T}, \text{ onde } N \text{ é o número de falhas.} \quad (7)$$

2.1.5 Tempo médio até a falha – MTTF

O tempo médio até a falha, MTTF (*mean time to failure*), é dado como:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t). dt \quad (8)$$

Utilizando distribuição exponencial de tempos de falha obtém-se através de $R(t) = e^{-\lambda t}$:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (9)$$

2.2 DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

A distribuição de Weibull é frequentemente usada para descrever o tempo de vida de produtos industriais, sua popularidade é devido a sua grande variedade de forma, sua forma de taxa de falha é crescente ou decrescente ou constante.

Segundo Benck et al (2008) a utilização da distribuição de Weibull é dada por:

- Representar falhas típicas de partida (mortalidade infantil), falhas aleatórias e falhas devido ao desgaste.
- Obter parâmetros significativos da configuração das falhas.
- Representação gráfica simples.

Para Werner (1996) uma outra maneira de apresentar a distribuição de Weibull é:

“...um item sujeito a ocorrência aleatória e independente de um grande número de imperfeições e se o tempo até a falha é determinado pela imperfeição mais grave, isto é o ponto mais fraco entre um grande número de imperfeições do sistema, então a distribuição resultante tenderá a uma distribuição de Weibull (WERNER, 1996)”.

Matematicamente a probabilidade de sucesso para um dado período de tempo t é:

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp \left[- \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (10)$$

Portanto, a probabilidade de falha é dada por:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\beta}\right)^\beta\right] \quad (11)$$

Sua função densidade de probabilidade é descrita como:

$$f(x) = \frac{t_0}{\alpha t_0} t^{t_0-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{t_0}\right], \text{ onde } t > 0 \quad (12)$$

O tempo médio até falha é:

$$MTTF = t_0 + \eta\Gamma(1 + \beta^{-1}) \quad (13)$$

Para Benck et al (2008) o significado dos parâmetros da Distribuição de Weibull são:

t_0 -Vida Mínima ou Confiabilidade Intrínseca (tempo de operação a partir do qual o equipamento passa a apresentar falhas, ou seja, intervalo de tempo que o equipamento não apresenta falhas)

η - Vida Característica ou Parâmetro de Escala (intervalo de tempo entre " t_0 " e " t " no qual ocorrem 63,2% das falhas, restando, portanto, 36,8% de itens sem falhar).

β - Fator de Forma (indica a forma da curva e a característica das falhas).

$\beta < 1$ Mortalidade infantil

$\beta = 1$ Falhas aleatórias (função exponencial negativa)

$\beta > 1$ Falhas por desgaste

Com o valor de β é possível identificar como será a forma da curva, ele é conhecido também como inclinação da distribuição de Weibull, seu valor é igual a inclinação da linha em um gráfico de probabilidade.

Na figura 1 é possível visualizar as curvas de inclinação da distribuição de Weibull:

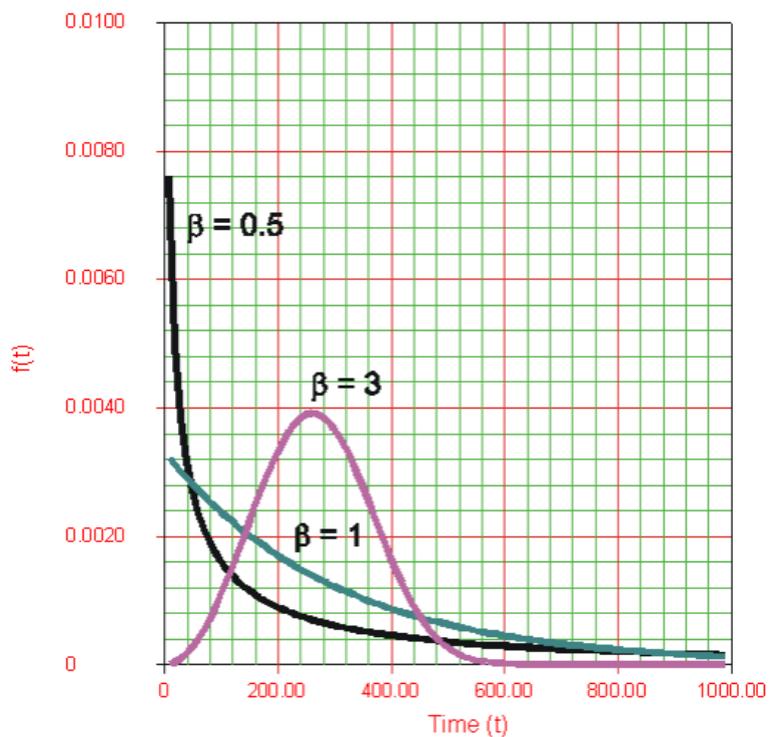


Figura 1 – Inclinação Distribuição de Weibull
Fonte: Reliasoft (2005).

As diferentes formas de curva na figura 1 são para os valores de β (fator de forma) quando menor que 1, quando maior que 1 e igual a 1.

Com a escolha apropriada dos parâmetros da Distribuição de Weibull pode-se representar uma larga faixa de distribuições de modelos de falhas, sendo possível sua utilização em vários campos da engenharia.

3 MODELO DE SIMULAÇÃO

Para o problema selecionado, atrasos na entrega de subestações, é necessária uma simulação confiável, que será realizada no *software* Reliasoft, utilizando a distribuição de Weibull.

A entrega de subestações entende-se como a entrega de um todo, desde estudos de viabilidade, serviços de civil para construção ou ampliação da subestação, projetos elétricos, projetos eletromecânicos e projetos civil necessários, implantação, testes de fabricas, teste de campo. Para simplificar identificaremos como projetos de subestações.

Para o levantamento de dados dos projetos foi preciso verificar quais projetos possuem as mesmas características, fazendo o levantamento da quantidade de dias de atrasos quando houver. Foram descartados os projetos com falta de documentação.

3.1 CONFIABILIDADE EM PROJETOS DE SUBESTAÇÕES

Para o estudo de confiabilidade na empresa X foi feito um levantamento de dados de 20 projetos entre os anos de 2011 à 2016, todos finalizados dentro desse período. Todos os empreendimentos de subestações de 138kV, 230kV ou 525kV, tanto subestações novas como ampliações de subestações.

Dentre esses 20 projetos existe os que houveram aditivos de prazo ou não. Os aditivos de prazo são as causas de atrasos da entrega do empreendimento. Com estes dados é possível obter a confiabilidade, a taxa de falha, função densidade de probabilidade e função distribuição acumulada.

Segue na tabela 1 o levantamento obtido em relação aos aditivos de dias dos projetos de subestações:

Tabela 1 – Projetos com aditivo/sem aditivo

PROJETO	ADITIVO EM DIAS
PROJETO 1	110
PROJETO 2	45
PROJETO 3	40
PROJETO 4	150
PROJETO 5	sem aditivo
PROJETO 6	sem aditivo
PROJETO 7	90
PROJETO 8	90
PROJETO 9	230
PROJETO 10	70
PROJETO 11	210
PROJETO 12	sem aditivo
PROJETO 13	180
PROJETO 14	120
PROJETO 15	sem aditivo
PROJETO 16	sem aditivo
PROJETO 17	50
PROJETO 18	sem aditivo
PROJETO 19	sem aditivo
PROJETO 20	sem aditivo

Fonte: Autoria própria (2017)

Transcrevendo a tabela de aditivos para o Weibull ++ da Reliasoft obtém-se a figura

2:

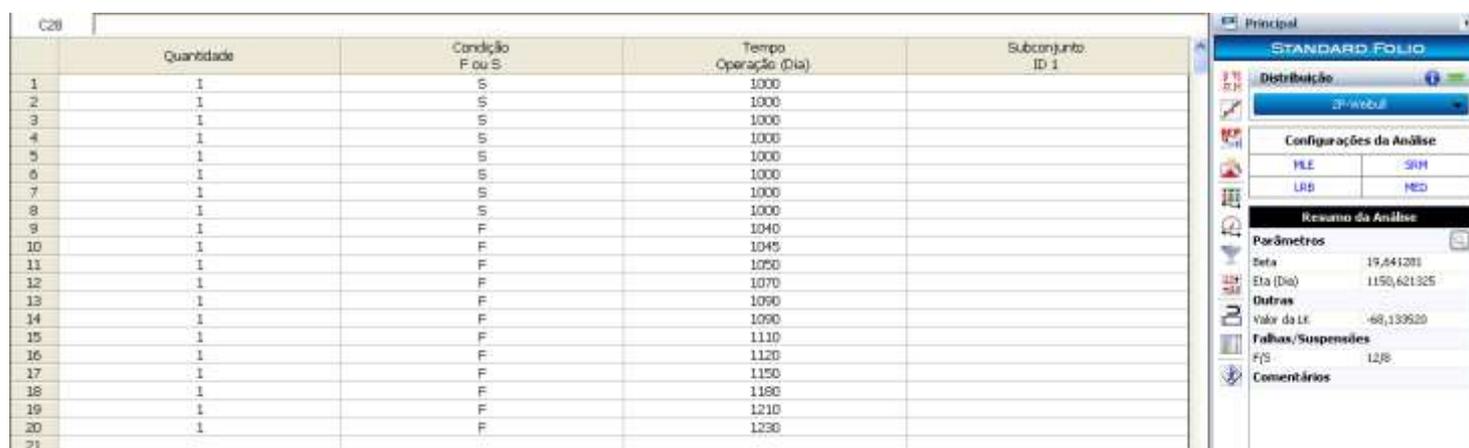


Figura 2 Dados em Weibull ++
Fonte: Autoria própria via Weibull ++ (2017)

Na simulação da figura 2 os projetos sem aditivo são considerados como suspensões e seu tempo limite para término de projetos foi definido em 1000 dias, então as falhas são os aditivos depois de 1000 dias de execução.

Na plataforma Weibull ++ é possível obter graficamente e matematicamente os valores das métricas de confiabilidade, sendo possível assim avaliar os resultados.

Pelo valor de β encontrado é possível prever a forma da curva de Weibull, a função distribuição de probabilidade, conforme figura 1.

4 RESULTADOS

Os resultados das simulações realizadas com os dados obtidos pelo levantamento dos projetos da empresa X segue apresentados a seguir.

Lembrando que os dados foram obtidos através de uma amostra de 20 projetos de subestações para verificação da confiabilidade de entrega no prazo ou não, distribuição realizado no *software* Weibull ++ da Reliasoft.

A confiabilidade do sistema estudado, segue na figura 3.

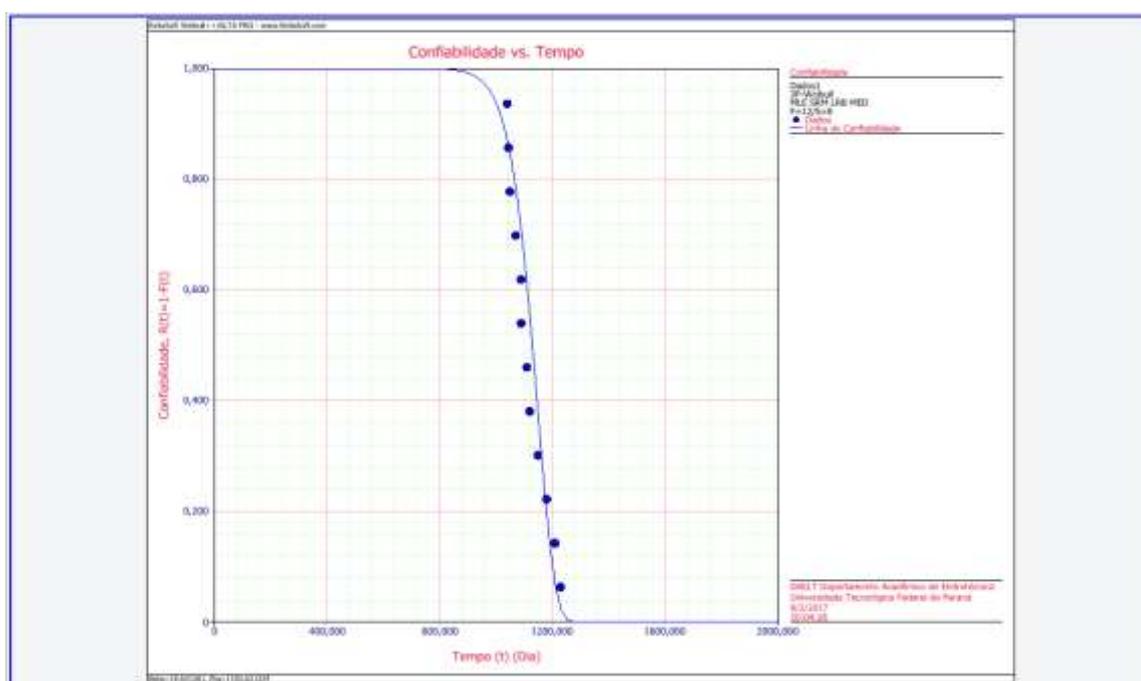


Figura 3 – Gráfico Confiabilidade
Fonte: Autoria própria via Weibull ++ (2017).

O gráfico de confiabilidade mostra uma curva que decresce ao longo do tempo, seu valor inicial tende a valores próximos de 1 (maior confiabilidade) e ao longo do tempo tende a valores próximos a 0 (baixa confiabilidade).

Matematicamente esses valores são obtidos pela função QCP do *software* Weibull ++, conforme segue na figura 4:

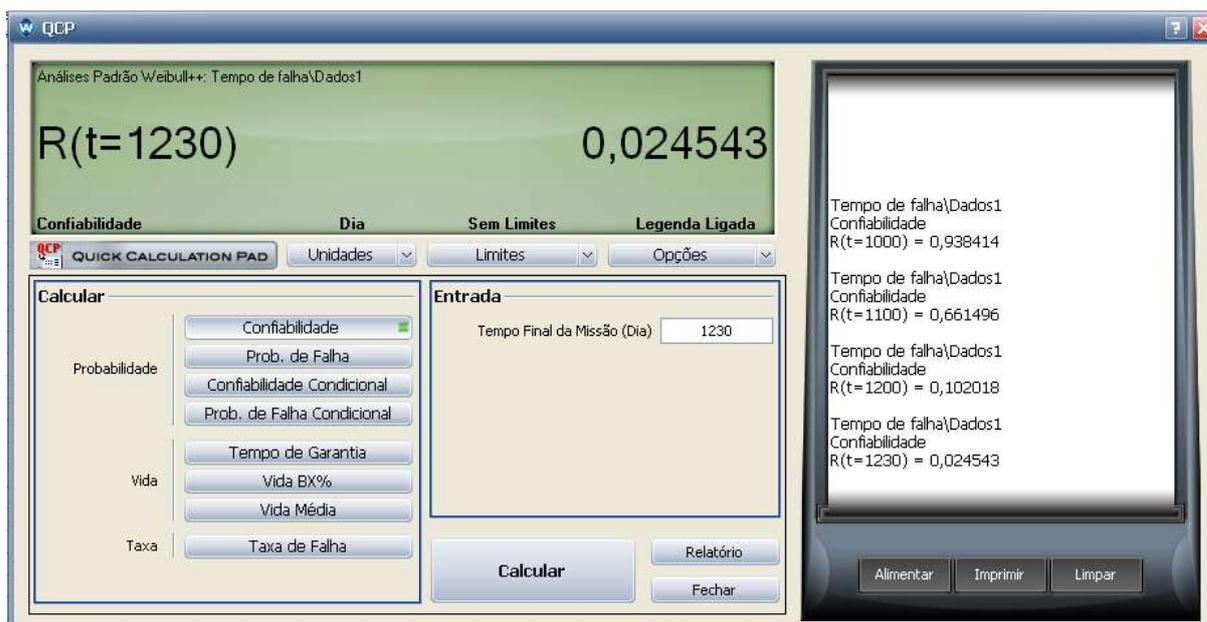


Figura 4 – Cálculo de confiabilidade
Fonte: Autoria própria via Weibull ++ (2017)

Conforme aumenta-se o Tempo Final da Missão, ou seja, ao passar do andamento da execução dos projetos o valor da confiabilidade diminui.

A probabilidade de falha sendo seu valor complementar ao valor de confiabilidade, conforme a equação 4, a curva resultante é crescente, segue na figura 5:

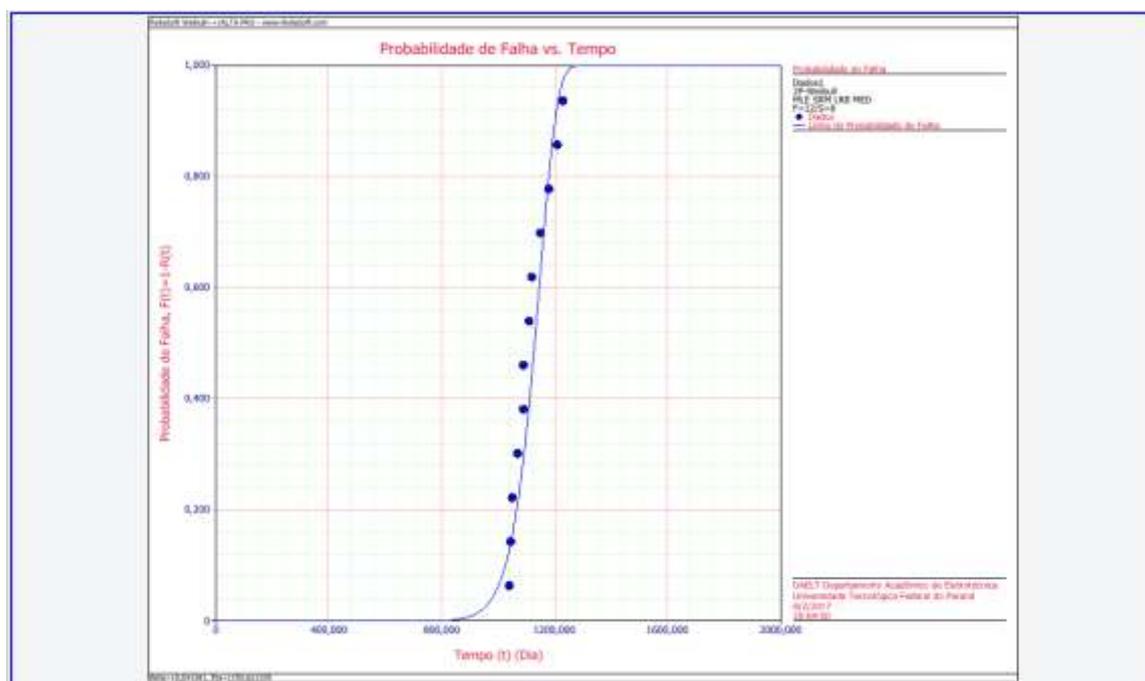


Figura 5 – Gráfico Probabilidade de Falha
Fonte: Autoria própria via Weibull ++ (2017)

Sua curva cresce de acordo com o tempo de execução do projeto. Matematicamente esses valores são obtidos no Weibull ++ conforme figura 6:

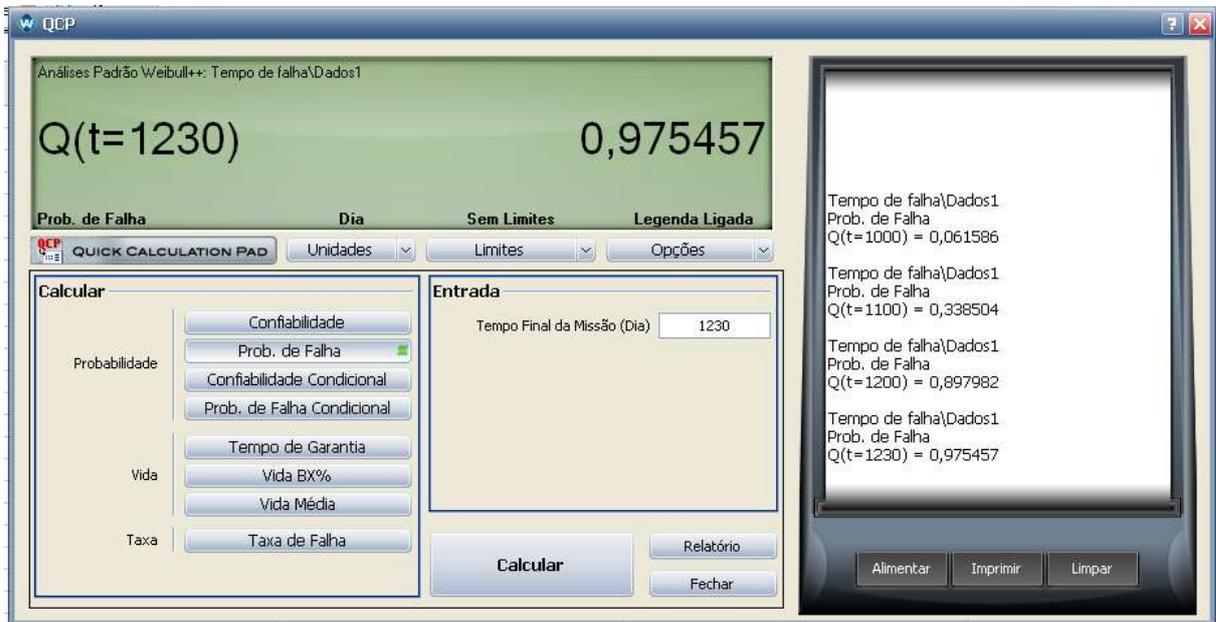


Figura 6 – Cálculo Probabilidade de Falha
Fonte: Autoria própria via Weibull ++ (2017)

Com o aumento do tempo final da missão, tempo de execução do projeto, a probabilidade de falha aumenta.

O gráfico da função densidade de probabilidade está representada na figura 7:

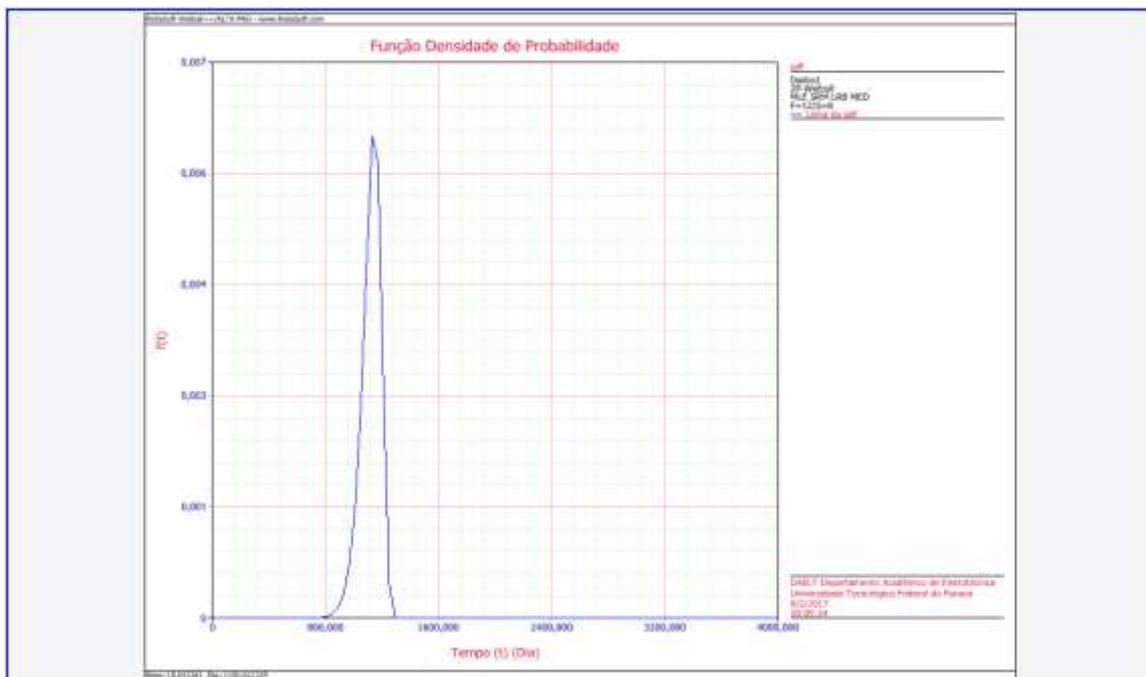


Figura 7 – Gráfico Função densidade de Probabilidade
Fonte: Autoria própria via Weibull ++ (2017)

A função densidade de probabilidade expõe a probabilidade o qual cada valor de tempo (dias) possa ocorrer. Nota-se que a densidade de falhas, atrasos, concentra-se logo na fase final dos prazos estipulados nos projetos, diminuindo de acordo que esses aditivos de prazo são cumpridos, produtos entregues ao cliente.

A taxa de falhas cresce ao longo do tempo, tendo uma crítica inclinação quando ultrapassado o tempo limite do término do projeto, conforme segue na figura 8:

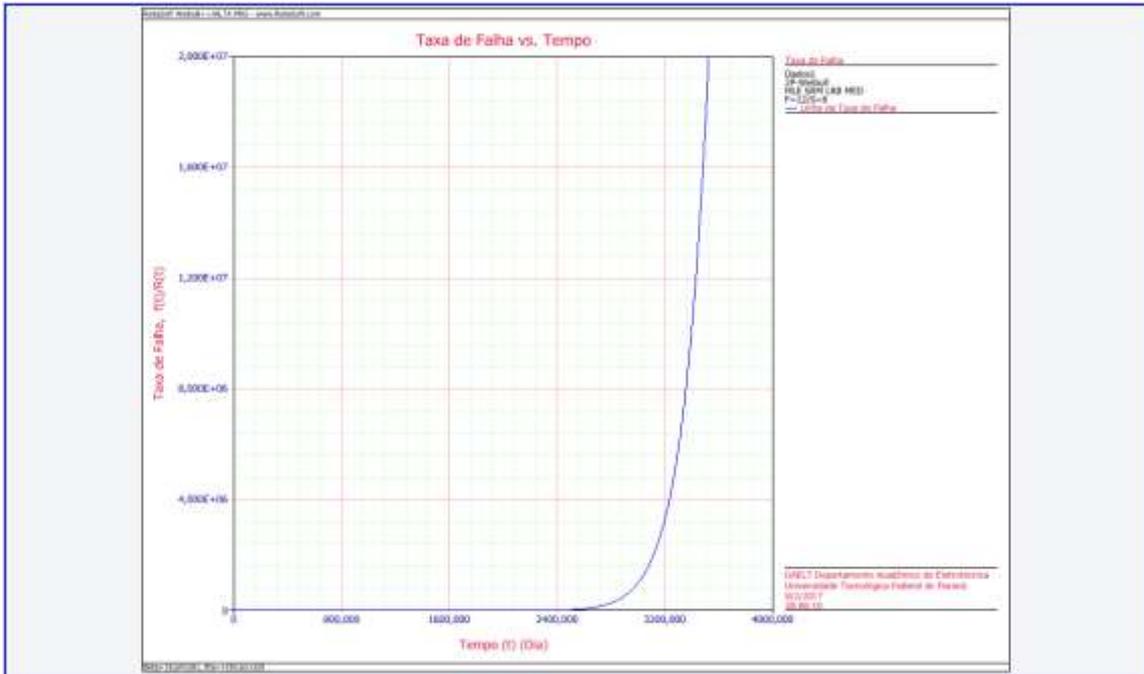


Figura 8 – Gráfico Taxa de falha
Fonte: Autoria própria via Weibull ++.

9: Matematicamente a taxa de falha é representado pelos valores conforme segue a figura

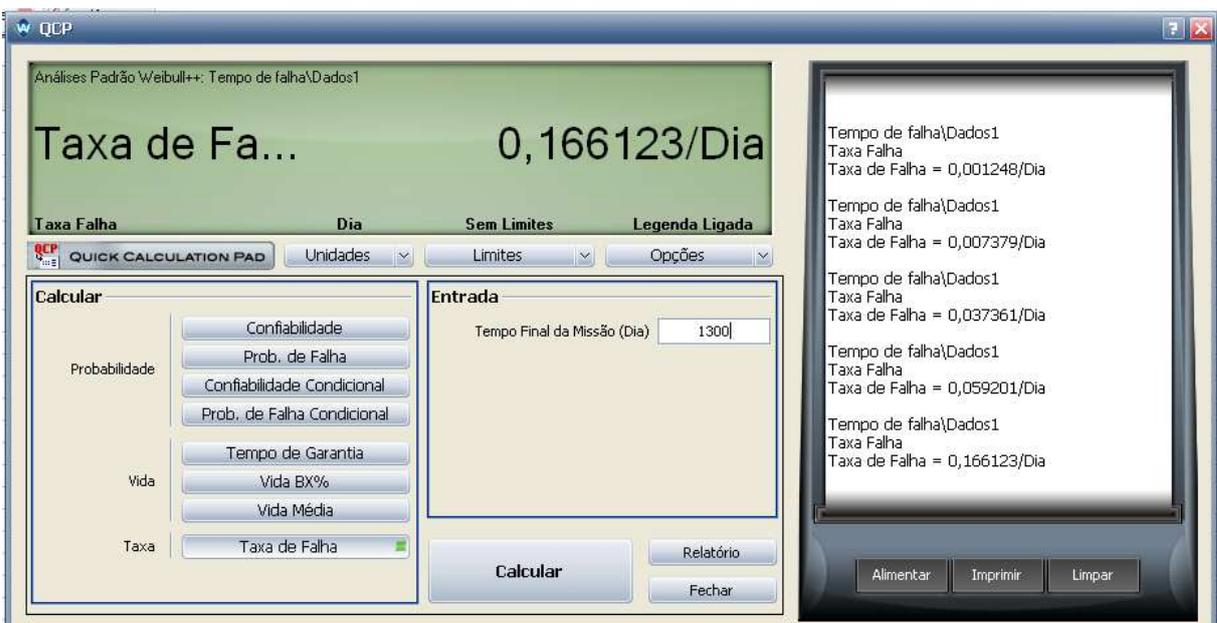


Figura 9 – Cálculo Taxa de falhas
Fonte: Autoria própria via Weibull ++.

Os valores de taxa de falha aumentam conforme o tempo de missão aumenta.

O aumento ou declínio dos valores de confiabilidade, probabilidade de falha e taxa de falhas estão representados na tabela 2:

Tabela 2 – Resultados obtidos

Tempo de missão (dias)	Confiabilidade	Probabilidade de falhas	Taxa de falhas (taxa de falha/dia)
1000	0,938	0,062	0,001248
1100	0,661	0,339	0,007379
1200	0,102	0,898	0,037361
1230	0,024	0,975	0,059201

Fonte: Autoria própria (2017).

Pela tabela 2 é possível constatar o valor da confiabilidade diminui ao longo do tempo e quanto mais dias de aditivos menor é a confiabilidade, em contraposto a probabilidade de falha aumenta ao passar dos dias aditivos, confirmando que a probabilidade de falha é o valor complementar a confiabilidade (soma da confiabilidade com a probabilidade de falha igual a 1).

A taxa de falhas aumenta conforme os dias além do limite de entrega dos projetos passam, a probabilidade da unidade vir a atrasar aumenta.

5 CONCLUSÃO

A eficiência da confiabilidade foi analisada através da distribuição de Weibull no *software* Reliasoft. A distribuição de Weibull é amplamente aplicado na engenharia de confiabilidade como modelo de tempo de falha para sistemas elétricos, mecânicos e de componentes.

Os estudos de confiabilidade proporcionam maior segurança na tomada de decisão para fazer ou não melhorias nos métodos aplicados e seus resultados servem de parâmetro para estudos futuros.

A distribuição aplicada em projetos de subestações apresentou diversas características, segue as considerações:

- Comprovado graficamente e matematicamente que a confiabilidade diminui de acordo com o aumento de tempo da execução do projeto.
- A probabilidade de falha aumenta ao passar do tempo.
- A taxa de falha aumenta ao decorrer do tempo de execução dos projetos.
- Quanto maior o número de aditivos, mais falhas no projeto, pior será sua confiabilidade.
- Aproximando-se do prazo final para entrega dos projetos todas as métricas indicam pioras em seus valores, confiabilidade diminui, taxa de falha aumenta, probabilidade de falha aumenta.

As curvas acentuadas mostram a gravidade dos atrasos, tornando os projetos de subestações de baixa confiabilidade, levando a substanciais aditivos de prazo que podem gerar muitas contratuais. Esses aditivos de prazo estão amplamente ligados aos custos adicionais que a contratada dos projetos de subestações tem em relação aos serviços adicionais ao prazo, são custos de mão de obra, disponibilidade de pessoal, disponibilidade de equipamentos. A contratante também possui prejuízos, pois no tempo em que seu produto não é entregue a empresa deixa de lucrar.

Resultados quantitativos permitem melhores argumentos frente a empresa na hora da tomada de decisões, caso seja necessária soluções para a baixa confiabilidade e alto índice de falhas.

Para análises quantitativas como atrasos na entrega de projetos são necessárias bases sólidas de dados e, muitas vezes empresas em que falhas de atrasos ocorrem já indicam

dificuldade em organização na gestão dos projetos, criando assim arquivamentos e registros duvidosos, sendo esta uma grande dificuldade para análise de confiabilidade.

Utilizando somente a análise de confiabilidade não é possível identificar as causas raízes dos problemas, produtos como projetos de subestações necessitam de uma análise qualitativa para ponderação das possíveis causas das falhas, essa limitação pode ser sanada combinando os resultados da análise de confiabilidade juntamente com as ferramentas de qualidade possibilitando realizar uma análise do que está ocorrendo identificando as causas e suas possíveis soluções.

Para estudos futuros o FMEA de projetos, dentre as principais ferramentas de qualidade, é uma sugestão de escolha para estudos futuros para correção da baixa confiabilidade em projetos de subestação na empresa X. Antecipadamente ao estudo de FMEA de projetos, tomando por base as dificuldades enfrentadas ao longo deste trabalho de conclusão de curso, é válido realçar que para uma base sólida de dados é necessária uma melhor organização no registro de todos os fatos relevantes ocorridos ao longo dos projetos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Dimas C. de.; MELLO, Carlos Henrique P. **FMEA de Processo: Uma proposta de Aplicação Baseada nos Conceitos da ISSO 9001:2000**, XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, out. 2008. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_070_501_10838.pdf>. Acesso em 16 jan. 2017.

AGUIAR, Dimas C. de.; SALOMON, Valério A. P. **Avaliação da prevenção de falhas em processos utilizando métodos de tomada de decisão**. Scielo, São Paulo, 8 nov. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132007000300008>. Acesso em 09 jan 2017.

AGUIAR, Milena C. **Análise de Causa Raiz: levantamento dos métodos e exemplificação**. 2014. 129f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2014.

ANDRADE, Waltencir dos S. **Avaliação da Confiabilidade de Sistemas de Distribuição e Sub-transmissão** Considerando Geração Distribuída. 2007. 215f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2007.

ARAÚJO, L. O. C.; GRILO, L. M.; SOUZA, U. E. L. & MELHADO, S. **O Microplanejamento do Serviço de Concretagem: Análise e Aplicabilidade das Ferramentas da Qualidade**. São Paulo, 2000.

ARAÚJO, Luís Otávio C. de et al. **O Microplanejamento do Serviço de Concretagem: Análise e aplicabilidade das ferramentas da qualidade**. Research gate. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228787774_O_Microplanejamento_do_Servico_d_e_Concretagem_Analise_e_aplicabilidade_das_ferramentas_da_qualidade>. Acesso em 17 jan. 2017.

AUGUSTO, Pedro. **Diretor Explica a Importância da Aplicação da Engenharia da Confiabilidade**. Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos, Rio de Janeiro, 13 mar. 2013. Disponível: <<http://www.abraman.org.br/noticias/diretor-explica-a-importancia-da-aplicacao-da-engenharia-da-confiabilidade>>. Acesso em 22 nov 2016.

BENCK, Luis C.; WONG, Kevin; CANDIDO, Tamara. **Distribuição de Weibull Conceitos Básicos Aplicações**. São Paulo. 2008. Disponível em: <<http://www.fcmmpep.org.br/disciplinas/turma2/MB-711/Distribuicao%20de%20Weibull.pdf>>. Acesso em 15 jan. 2017.

BEZERRA, Filipe. **Diagrama de Ishikawa – Causa e Efeito**, Portal Administração. Disponível em: <<http://www.portal-administracao.com/2014/08/diagrama-de-ishikawa-causa-e-efeito.html>>. Acesso em 25 jan. 2017.

BUENO, Ádamo A. et al. **Ciclo PDCA**. Goiânia, 2013. Disponível em: <http://www.luisguilherme.com.br/download/eng1530/turmac04/g07-ciclo_pdca.pdf>. Acesso em 25 jan. 2017.

CAVALCANTI, Marianne A. et al. **Aplicação do FMEA de Projetos ao Gerenciamento de Riscos de um Projeto no Setor da Construção Naval**. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte, out 2011. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_136_866_19220.pdf>. Acesso 13 jan 2017.

Conceitos de confiabilidade. 2005. Disponível em: <<http://www.san.uri.br/~ober/arquivos/disciplinas/tolerancia/apoio/weibull.pdf>>. Acesso em: 15 jan.2017.

Confiabilidade e Prevenção de Falhas em Produtos. Engenharia de Produção, 2 abr. 2009. Disponível em: <<http://engenhariadeproducaoindustrial.blogspot.com.br/2009/04/confiabilidade-e-prevencao-de-falhas-em.html>>. Acesso 22 nov. 2016.

COSTA, Aécio. **Gestão da Qualidade de Software**. Disponível em: <<http://www.aeciocosta.com.br/>>. Acesso 15 set. 2016.

DOMINGUES, Rafael M. **Uso do FMEA como Ferramenta para Análise de Riscos em Projetos**. 2008. 60f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Bacharelado em Sistemas de Informação) – Curso Bacharelado em Sistemas de Informação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

DUALIBE, Paulo. **Subestações: Tipos, Equipamentos e Proteção**. Nov. 1999. Disponível em: <<http://www.uff.br/lev/downloads/apostilas/>>. Acesso em 19 jul. 2016.

Engenharia de confiabilidade reduz falhas e custos. Central de Geração de Conteúdo de NEI Soluções. Disponível em: <<http://www.nei.com.br/artigo/engenharia-de-confiabilidade-reduz-falhas-e-custos>>. Acesso 22 nov. 2016.

Engenharia de Confiabilidade. Associação brasileira de análise de risco, segurança de processos e confiabilidade. Disponível em: <<http://www.abrisco.com.br/novo/conceitos/9-engenharia-de-confiabilidade>>. Acesso 09 jan. 2017.

FAGUNDES, Angelyna M. et al. **Estudo de Caso: Análise Quantitativa de Confiabilidade e Disponibilidade de um Torno CNC, baseado na Metodologia RCM (Reliability centred maintenance), Aplicado a Área de Manutenção Industrial.** XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte, out 2011. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_136_866_19076.pdf>. Acesso 13 jan. 2017.

FAGUNDES, Liliane D. et al. **Metodologia de gestão de falhas para empresas do setor elétrico.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Florianópolis. Nov. 2004. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENECEP2004_Enegep0109_1288.pdf>. Acesso 15 set. 2016.

HOLANDA, Mariana de A.; PINTO, Ana Carla B. R. F. **Utilização do Diagrama de Ishikawa e Brainstorming para Solução do Problema de Assertividade de Estoque em uma Indústria da Região Metropolitana de Recife.** XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, out. 2009. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_tn_sto_103_685_13053.pdf>. Acesso em 16 jan. 2017.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial: FMEA.** 3. ed. Manuais QS-9000. São Paulo, 2001.

LAFRAIA, J. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade.** Rio de Janeiro:Qualitymark, 2001.

LEITE, João. **Ishikawa - Diagramas de causa-e-efeito.** 21 maio 2015. Disponível em: <http://industrialperformance.blogspot.com.br/2015/04/ishikawa-diagramas-de-causa-e-efeito.html>>. Acesso em 16 jan. 2017.

MARIANI, Celso A. et al. **Método PDCA e Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos Industriais: Um Estudo de Caso.** Revista de Administração e Inovação, v.2, n.2, nov. 2005. Disponível em: http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep_aux.php?e=12>. Acesso em 25 jan. 2017.

MEIRE, Rosemary. **Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA).** Blog da Qualidade. 11 jul. 2012. Disponível em: <http://www.blogdaqualidade.com.br/analise-de-modos-de-falhas-e-efeitos-fmea/>>. Acesso em 10 jan. 2017).

MORIKAWA, Edson et al. **FMEA – Failure mode and Effect Analysis.** 2016. 38f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Curso Engenharia Mecânica, Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2016.

O que é e como aplicar a técnica dos 5 porquês na empresa?. Qualidade Simples. 7 out. 2015. Disponível em: <<http://blog.qualidadesimples.com.br/2015/10/07/o-que-e-e-como-aplicar-tecnica-dos-5-porques-na-empresa/>>. Acesso em 20 jan. 2017.

O que é e como funciona uma subestação de energia?, Tecnogera, São Bernardo dos Campos, 23 set .2014. Disponível em <<http://www.tecnogeradores.com.br/blog/o-que-e-e-como-funciona-uma-subestacao-de-energia/>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

Os 5 Porquês (5-Why) – Análise da Causa Raiz. Qualidade Total. 18 fev. 2014. Disponível em: <<http://www.apostilasdaqualidade.com.br/os-5-porques-5-why-analise-da-causa-raiz/#ixzz4XMRGfWHA>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

PERIARD, Gustavo. **O Ciclo PDCA e a melhoria contínua**. Sobre Administração. 01 jun. 2011. Disponível em: <http://www.sobreadministracao.com/o-ciclo-pdca-deming-e-a-melhoria-continua/>>. Acesso em 25 jan. 2017.

PESSOA, Gerisval. **Ferramentas de Gestão da Qualidade**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABhQsAI/ferramentas-gestao-qualidade-fta>>. Acesso 16 jan. 2017.

PETERNELLI, Luiz Alexandre. **Capítulo 4 – Variáveis aleatórias e distribuições de probabilidade**. 2003. Disponível em: <http://www.dpi.ufv.br/~peternelli/inf162.www.16032004/materiais/CAPITULO4.pdf>>. Acesso em 22 jan. 2017.

PINTO, Luis Henrique T. **Análise de falhas – Tópicos de Engenharia de Confiabilidade**. Nov 2004. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgeK0AF/tcc-camila-engenharia-confiabilidade>>. Acesso em 01 fev. 2017.

PRADO FILHO, Hayrton R. **Mais uma ferramenta da qualidade: Faut Tree Analysis (FTA) ou análise da árvore de falhas**. Qualidade Online's Blog, 2 jul. 2010. Disponível em: <<https://qualidadeonline.wordpress.com/2010/07/02/mais-uma-ferramenta-da-qualidade-faut-tree-analysis-fta-ou-analise-da-arvore-de-falhas/>>. Acesso 16 jan. 2017.

Práticas do DFMEA (Planejamento do Projeto), aplicando-as em situações do dia a dia. Com Êxito. Disponível em: <<http://comexito.com.br/fmea/fmea2.pdf>>. Acesso em 22 de jan. 2017.

RODRIGUES, Diego M. et al. **Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial – FMEA**. São Leopoldo, 2010. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0109_1288.pdf>. Acesso 15 jan. 2017.

RODRIGUES, Marcelo. **FMEA ‘Failure Mode and Effect’- Análise dos tipos de falhas e efeitos.** 2011. Disponível em: <http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/professores/marcelor/APOSTILA_FMEA.pdf>. Acesso em 15 set. 2016.

SANTOS, Atair. **Brasil descobre a engenharia de confiabilidade.** Massa Cinzenta, 31 mar. 2010. Disponível: <http://www.cimentoitambe.com.br/brasil-descobre-a-engenharia-de-confiabilidade/>>. Acesso em 22 nov. 2016.

SCHMITT, Jose C. **Método de Análise de Falha Utilizando a Integração das Ferramentas DMAIC, RCA, FTA e FMEA.** 2013. 99f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D’Oeste, 2013.

SOARES, Alex. **Conceitos básicos de confiabilidade.** Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/alexsoares2517/apostila-de-confiabilidade>>. Acesso em: 22 jan. 2017.

Tipos de Análise: Qualitativa e Quantitativa, Portal Educação, 10 jan. 2013. Disponível: <<https://www.portaleducacao.com.br/administracao/artigos/26369/tipos-de-analise-qualitativa-e-quantitativa>>. Acesso em 15 jan. 2017.

VIALI, Lori. **Série probabilidade.** 2016. Disponível em: <http://www.pucrs.br/famat/viali/graduacao/producao/probabilidade/material/apostilas/Prob_2.pdf>. Acesso em 15 jan. 2016.

WERNER, Liane. **Modelagem dos Tempos de Falhas ao Longo do Calendário.** 1996. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Qualidade) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. Disponível em: <<http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/Liane%20Werner.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

APÊNDICE A – Ferramentas de Qualidade

Afim de melhorar a confiabilidade em engenharia, qualidade, desenvolvimento de produtos, manutenção, linhas de produção existem ferramentas de qualidade que identificam as possíveis falhas desses sistemas, podemos destacar:

ANÁLISE POR ÁRVORE DE FALHAS - FTA

A análise por árvore de falhas (FTA) trata-se de um método padronizado de análise de falhas, que verifica como as falhas ocorrem em um equipamento e/ou processo e suas consequências, orientando medidas corretivas ou preventivas a serem adotadas. Esta ferramenta permite a análise de pequenos sistemas a sistemas mais complexos, não se limitando a análises de confiabilidade, mas abrangendo de modo geral na determinação de causas potenciais a acidentes ou um sistema falhar.

Segundo Pessoa, FTA é um processo lógico dedutivo que parte de um evento indesejado (EVENTO TOPO), buscando todas as possíveis “causas básicas” (EVENTOS BÁSICOS) que podem levar à ocorrência desse evento, sendo então conhecida como uma ferramenta *top down* (de cima para baixo).

Os procedimentos para criação da árvore de falhas são bem documentadas e requer conhecimento do sistema em estudo, identificando as causas, suas singularidades, a independência e a condicionalidade dos eventos envolvidos.

Segundo Fagundes et al (2004), apud Araújo et al.(2000), as etapas para realização de uma FTA são:

- Definir o evento de topo: o evento de topo se trata de um comportamento anormal do sistema. Para a sua definição, são necessários relatos de falhas ocorridas no campo, falhas potenciais, principalmente aquelas relacionadas com a segurança dos usuários.
- Entender o sistema: a análise da árvore de falhas exige o conhecimento da estrutura do sistema e de seu esquema de funcionamento, ou seja, é necessário um diagnóstico do objeto de estudo.
- Construir a árvore de falhas: esta etapa utiliza todo o conhecimento adquirido sobre o sistema. Todas as informações vão ser reunidas de forma a representar a inter-relação entre as partes que possam acarretar o evento de topo.
- Avaliar a árvore de falhas: etapa que tem por objetivo o cálculo da probabilidade de ocorrência do evento de topo, ou seja, realização da análise quantitativa.

- Implementar ações corretivas: na etapa anterior, são identificados os itens do sistema que possuem baixa confiabilidade e que, por este motivo, aumentam a probabilidade do evento de topo. Este último passo visa a programar ações corretivas para aumentar a confiabilidade destes itens.
- Dentre os símbolos necessários na construção da FTA, os mais utilizados são o círculo e o retângulo. O círculo denota um evento de falha básico ou a falha de um componente elementar. O retângulo denota um evento de falha que é o resultado de uma combinação lógica de eventos de falha.

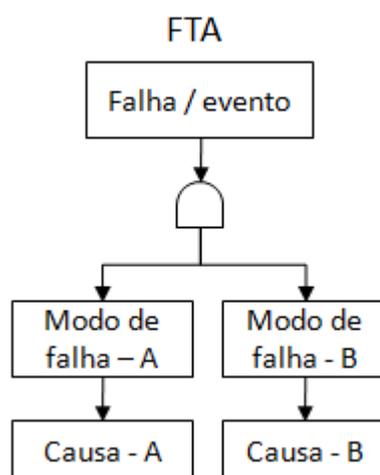


Figura 10 - FTA – Árvore de falha genérica
Fonte: Schmitt (2013).

A vantagem do FTA é obter de forma lógica a interligação entre os componentes e a identificação dos que falharam, podendo aumentar a confiabilidade do sistema.

ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA - FMEA

A análise de efeitos e modos de falha (FMEA) pode ser descrita como um grupo sistemático de atividades com o objetivo de (a) reconhecer e avaliar falhas que podem acontecer em um produto ou processo, seus efeitos e suas causas; (b) identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance da falha potencial ocorrer e (c) documentar o processo (RODRIGUES et al, 2010, p.2).

Sua aplicação depende da qualidade das informações utilizadas e a eficácia da comunicação sobre o problema gerado logo no início do projeto, proporcionando a análise e implementação das ações corretivas e preventivas propostas.

O FMEA de forma qualitativa identifica pontos de maior probabilidade de falha, fornecendo ideias para testes incorporados ao projeto, reduzindo eventos não previstos durante um processo, proporcionando a possibilidade de uma ação preventiva.

Existem dois tipos de FMEA: de produto (denominada FMEA de projeto) e de processo.

FMEA de Projeto

O FMEA de Projeto (*Design FMEA*), também chamado de DFMEA, conhecido também como FMEA de produto ou FMEA de design, tem como objetivo identificar os modos de falha, supondo que o produto atenda aos requisitos de projeto. DFMEA promove ações investigativas corretivas identificando as falhas decorrente do projeto antes da entrega do serviço, do produto.

Existem dois requisitos para DFMEA, o primeiro é a identificação correta do formulário, sendo que, cada empresa possui seu próprio formulário baseado em suas necessidades e, o segundo é a identificação dos itens para classificação em ordem de prioridade, que também não possui um padrão, devendo ser de acordo com suas necessidades.

Algumas perguntas a serem feitas durante a execução de um DFMEA são:- O que o produto faz, e quais são suas intenções de uso? - Como o produto executa suas funções? - Que matérias-primas e componentes são utilizados para construir o produto? - Como, e em que condições, o produto se comunica com outros produtos? - Que sub-produtos são criados pelo produto ou pelo uso do produto? - Como o produto é usado, mantido, consertado e descartado? - Quais são as etapas de manufatura na produção do produto? - Que fontes de energia estão envolvidas e como? - Quem utilizará ou estará nas vizinhanças do produto, e quais são as capacidades e limitações destes indivíduos? (DOMINGUES, 2008 apud STAMATIS, 2003, p. 132)

Todos os tipos de FMEA utilizam o mesmo modelo de tabela, tendo pequenas variações da mesma de acordo com a tarefa proposto.

Modo de Falha Potencial e Análise de Efeitos (FMEA de Projeto)																		
Número da peça: _____			Responsável pelo projeto: _____				FMEA Nr. _____											
Descrição: _____			Data FMEA (original): _____				Página _____ de _____											
Sistema/Subsistema/Seção: _____			Data FMEA (revisão): _____				Emitente _____											
Participantes do grupo: _____							Data emissão _____											
Item Função	Modo de falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	s e v e r i d a d	Causa(s) Potencial Mecanismo(s) de Falha	o c o r r	Plano de Verificação de Prevenção	Plano de Verificação de Detecção	D e t e c t e r	N P R	Ações Preventivas Recomendadas	Responsabilidade pela ação recomendada & Data da conclusão	Resultado das ações						
												Ações tomadas Data efetiva	S e v	O c o r	D e t e r			

Figura 11 – Formulário FMEA de Projeto
Fonte: Práticas do DFMEA.

Na definição do “Item/Função” tem-se o processo ou operação em análise, o item expresso em peças ou interfaces e a função a atividade em que o item se destina. Caso o item tenha mais de uma função com diferentes modos de falha diferentes essas funções devem ser listadas separadamente.

Para cada operação deve-se listar seus potenciais falhas, ou seja, como cada operação pode falhar quando seus requisitos ou objetivo de projeto são solicitados. Definido seus potenciais modos de falhas é possível através de conhecimento teórico ou prático listar o efeito que a potencial falha pode causar ao cliente ou para a próxima etapa do processo, um único modo de falha pode gerar vários efeitos.

Através da severidade classifica-se a gravidade dos efeitos de falha, essa classificação é feita por uma pontuação de um a dez, nota um para o menos grave e dez para o mais grave. A severidade está ligada ao efeito de modo de falha.

Deve-se dar uma atenção especial caso o grau de severidade seja alto.

Tabela 3 – Grau de severidade

Efeito	Critério: Severidade do efeito - cliente	Classificação
Falha em atender aos requisitos de segurança e legais	Modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental, sem aviso prévio.	10
	Modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental, com aviso prévio.	9
Perda ou degradação da função primária	Perda da função primária (veículo inoperante, mas não afeta a operação segura do veículo)	8
	Degradação da função primária (veículo operante, mas com nível de desempenho reduzido).	7
Perda ou degradação da função secundária	Perda da função secundária (veículo operante, mas funções de conforto / conveniência inoperantes)	6
	Degradação da função secundária (veículo operante, mas funções de conforto / conveniência com níveis reduzidos de desempenho)	5
Aborrecimento (prejuízo)	Acabamento ou barulho, veículo operante, item não conforme é observado pela maioria dos clientes (mais de 75%).	4
	Acabamento ou barulho, veículo operante, item não conforme é observado por 50% dos clientes.	3
Nenhum	Acabamento ou barulho, veículo operante, item não conforme é observado por determinados clientes (menos de 25%).	2
	Sem efeito notado	1

Fonte: Adaptado Práticas do DFMEA.

Na coluna de classificação é possível identificar as características especiais do produto, ou processo e de seu uso e também classificar os modos de falhas prioritários.

A causa potencial de modo de falha identifica o ponto fraco do projeto, a razão em que ocorrerá a falha. Um modo de falha pode ter várias causas e devem ser descritas de maneira mais específica possível ansiando orientar as ações preventivas para elas.

A ocorrência é medida de um a dez, onde um é para baixa ocorrência e dez para alta ocorrência, trata-se da estimativa em que a causa/mecanismo de falha ocorra.

Tabela 4 – Grau de Ocorrência

Probabilidade de falha	Critério: Ocorrência da causa – DFMEA (Vida do projeto/ confiabilidade do item / veículo)	Critério: Ocorrência da causa – DFMEA (incidentes por itens/ veículos)	Classificação
Muito alta	Nova tecnologia / novo projeto, sem histórico	≥ 100 em 1000/ ≥ 1 em 10	10
Alta	A falha é inevitável com o novo projeto, aplicação ou modificação, nas condições de operação, ciclo obrigatório	50 em 1000/ 1 em 20	9
	A falha é provável com o novo projeto, aplicação ou modificação, nas condições de operação, ciclo obrigatório.	20 em 1000/ 1 em 50	8
	A falha é incerta com o novo projeto, aplicação ou modificação, nas condições de operação, ciclo obrigatório.	10 em 1000/ 1 em 100	7
Moderada	Falhas frequentes associadas com projetos similares, ou em simulação e ensaio do projeto.	2 em 1000/ 1 em 500	6
	Falhas ocasionais associadas com projetos similares, ou em simulação e ensaio do projeto.	0,5 em 1000/ 1 em 2.000	5
	Falhas isoladas associadas com projetos similares, ou em simulação e ensaio do projeto.	0,1 em 1000/ 1 em 10.000	4
Baixa	Somente falhas isoladas, associadas com projetos similares ou em simulação e ensaio do projeto.	0,01 em 1000/ 1 em 100.000	3
	Nenhuma falha observada, associada com projetos similares ou em simulação e ensaio do projeto.	$\leq 0,001$ em 1000 1 em 1.000.000	2
Muita baixa	Falha é eliminada através de controle preventivo.	Falha é eliminada através de controle preventivo	1

Fonte: Adaptado Práticas do DFMEA.

O controle preventivo atual atua sobre o modo de falhas e suas as causas, assegurando a adequação o projeto.

Existem dois tipos de controle de projeto:

- Preventivo: Atua na causa do mecanismo ou do modo de falha prevenindo a falha ocorrer. Pode reduzir o índice de ocorrência de falha.
- Detectivo: Detecta o modo de falha antes que atinja o próximo nível do processo, ou antes de ser produzido.

No formulário existe os dois modos de controle, assim a equipe tem maior clareza para a identificação de qual modo de controle está sendo utilizado ou qual é a melhor visualização dos dois tipos de controle. O controle preferível a ser utilizado é o controle preventivo.

A coluna detecção é a classificação de um a dez da probabilidade de se detectar uma falha. Essa escala é inversamente proporcional ao poder de detecção, sendo um para prevenção de falha quase certa e dez para detecção incerta. Esse índice identifica a capacidade do controle atual de apontar a deficiência potencial do projeto.

Tabela 5 – Grau de Detecção

Oportunidade para a detecção	Critério: Probabilidade de detecção pelo controle de projeto	Pontos	Probabilidade de detecção
Nenhuma oportunidade de detecção	Nenhum controle atual de projeto. Não se pode detectar, ou não é analisado.	10	Quase impossível
Não há a possibilidade de detectar, em qualquer estágio	Análises do projeto e controles de detecção têm uma fraca capacidade de detecção. Análises virtuais (ex.: CAE, FEA, etc), não são correlacionadas às condições atuais de operações.	9	Muito remota
“Post” projeto congelado, e antes do lançamento	A verificação / validação do produto, depois do projeto congelado, e antes do lançamento, com ensaios de pass/fail (ensaios no subsistema ou sistema, com critério de aceitação, tal como montagem e manuseio, avaliação de transporte, etc).	8	Remota
	A verificação / validação do produto, depois do projeto congelado, e antes do lançamento, com ensaios de falhas (ensaios no subsistema ou sistema, até a falha ocorrer, ensaios de interações de sistemas, etc).	7	Muito baixa
	A verificação / validação do produto, depois do projeto congelado, e antes do lançamento, com ensaios de degradação (ensaios no subsistema ou sistema depois do ensaio de durabilidade, por exemplo verificação funcional.)	6	Baixa
Antes do congelamento do projeto	A validação do produto (ensaio de confiabilidade, desenvolvimento ou validação), antes do congelamento do projeto, usando ensaios pass/fail (exemplos: critério de aceitação para o desempenho, verificação funcional, etc).	5	Moderada

	A validação do produto (ensaio de confiabilidade, desenvolvimento ou validação), antes do congelamento do projeto, usando ensaios de falha (exemplos: até a quebra, rendimento, rachar, etc).	4	Altamente moderada
	A validação do produto (ensaio de confiabilidade, desenvolvimento ou validação), antes do congelamento do projeto, usando ensaios de degradação (exemplos: tendência de dados, valores antes e depois, etc).	3	Alta
Análises virtuais correlatas	Análise do projeto / controle de detecção tem uma capacidade forte de detecção. Análise virtual (ex.: CAE, FEA, etc.) é altamente correlacionada com a condição atual, ou esperada de operação, antes do congelamento do projeto.	2	Muito alta
Detecção não é aplicável, prevenção da falha	A causa da falha ou modo de falha não pode ocorrer, porque é altamente preventivo, através das soluções de projeto (exemplos: normas de projeto comprovadas, melhores práticas ou materiais comuns, etc).	1	Quase certa

Fonte: Adaptado Práticas do DFMEA.

Número de Prioridade de Risco (NPR) é o produto dos índices de severidade, ocorrência e detecção. Esse cálculo é feito utilizando o maior índice de severidade, o índice de ocorrência e o menor índice de detecção. O NPR prioriza as deficiências do processo, realizando assim as ações corretivas e preventivas necessárias.

As ações corretivas e preventivas devem ser todas registradas na coluna “ações recomendadas”. Cada ação recomendada precisa de um responsável e de estipulação de prazos para a execução dos mesmos. Tudo registrado nas colunas do formulário de FMEA de Projeto.

Segundo site Com Êxito para cada índice (severidade, ocorrência e detecção) existem ações recomendadas, conforme segue:

Para o alto índice de severidade:

- Alterações no projeto, fazendo assim que os modos de falha desapareçam.

Para o alto índice de ocorrência:

- Dispositivo à prova de erro (Poka Yoke);
- Revisão do projeto, para diminuir a tensão ou trocar componentes fracos (probabilidade alta de falha);
- Adicionar redundâncias, e revisão da especificação do material.

Para o alto índice de detecção:

- DOE (Delineamento de experimentos);
- Revisão do plano de ensaios, e ensaios de confiabilidade;
- Resultados de revisões de projetos;
- Resultados de análises de confiabilidade, modificações de uma dada norma de engenharia ou guia de projetos;
- Análises de projeto, desenhos, esquemas ou modelos, para confirmar as mudanças físicas da característica alvo.

FMEA de Processos

O FMEA de Processo (Process FMEA) também chamado de PFMEA, identifica os efeitos dos potenciais modos de falha em sistemas e equipamentos. Esse método detecta e elimina de forma sistemática e completa os pontos fracos do processo, reduzindo as falhas a valores aceitáveis, permitindo melhorias contínuas e registro histórico para futuros estudos.

Segundo Aguiar e Mello (2008), FMEA de processos pode ser representado como uma sequência de três eventos, Causas, Falhas e Efeitos.

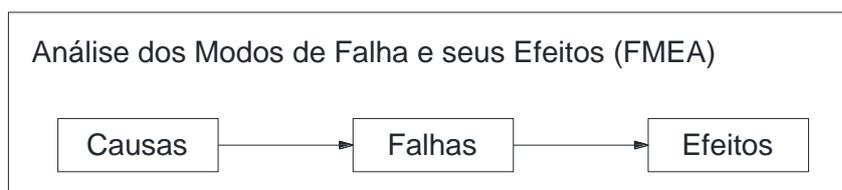


Figura 12 – Eventos que abordam o FMEA de Processo.
Fonte: Aguiar e Mello (2008).

“A utilização de FMEA visa identificar as características do processo que são críticas para os diversos tipos de falhas, através de questionamentos referentes à consequência da falha, probabilidade de ocorrência e probabilidade de detecção antes de afetar o cliente.” (AGUIAR e MELLO, 2008 apud SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002). Assim, o FMEA de Processo tem como objetivo definir, demonstrar e melhorar as soluções para atender a qualidade, confiabilidade, diminuição de custos, aumento de produtividade e aumentar a satisfação do cliente. Essa análise pode ser iniciada assim que o processo é definido.

A documentação do FMEA de Processo é feita através de um formulário padrão que reúne os potenciais modos de falha, como segue na figura a seguir:

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS FMEA DE PROCESSO																			
Data Chave: Projeto: Peça: Participantes:						No. FMEA: Pag. / Rev. ____ / ____ Preparado por: Data da FMEA:													
Item / Função	Modo de Falha Potencial	Efeito (S) Potencia (S) de Falha	S E V E .	C L A S S .	Cause Potencial (6M) Mecanismos	O C O R .	Controle Preventivo Atual	Controle Detecção Atual	D E T E C .	N P R .	Ações Recomendadas	Responsabilidade pelas ações recomendadas e os prazos envolvidos	Ações Resultantes						
													Ação Tomada	S E V E .	O C O R .	D E T E C .	N P R .		

Fonte: Adaptado de Instituto da Qualidade Automotiva (2001).

Figura 13 – Formulário FMEA de Processo.
Fonte: Aguiar e Salomon, 2007 (apud Instituto da Qualidade Automotiva, 2001).

Segundo Aguiar e Salomon (2007) o formulário de FMEA de Processo pode ser preenchida em quatro etapas conforme a figura 14:

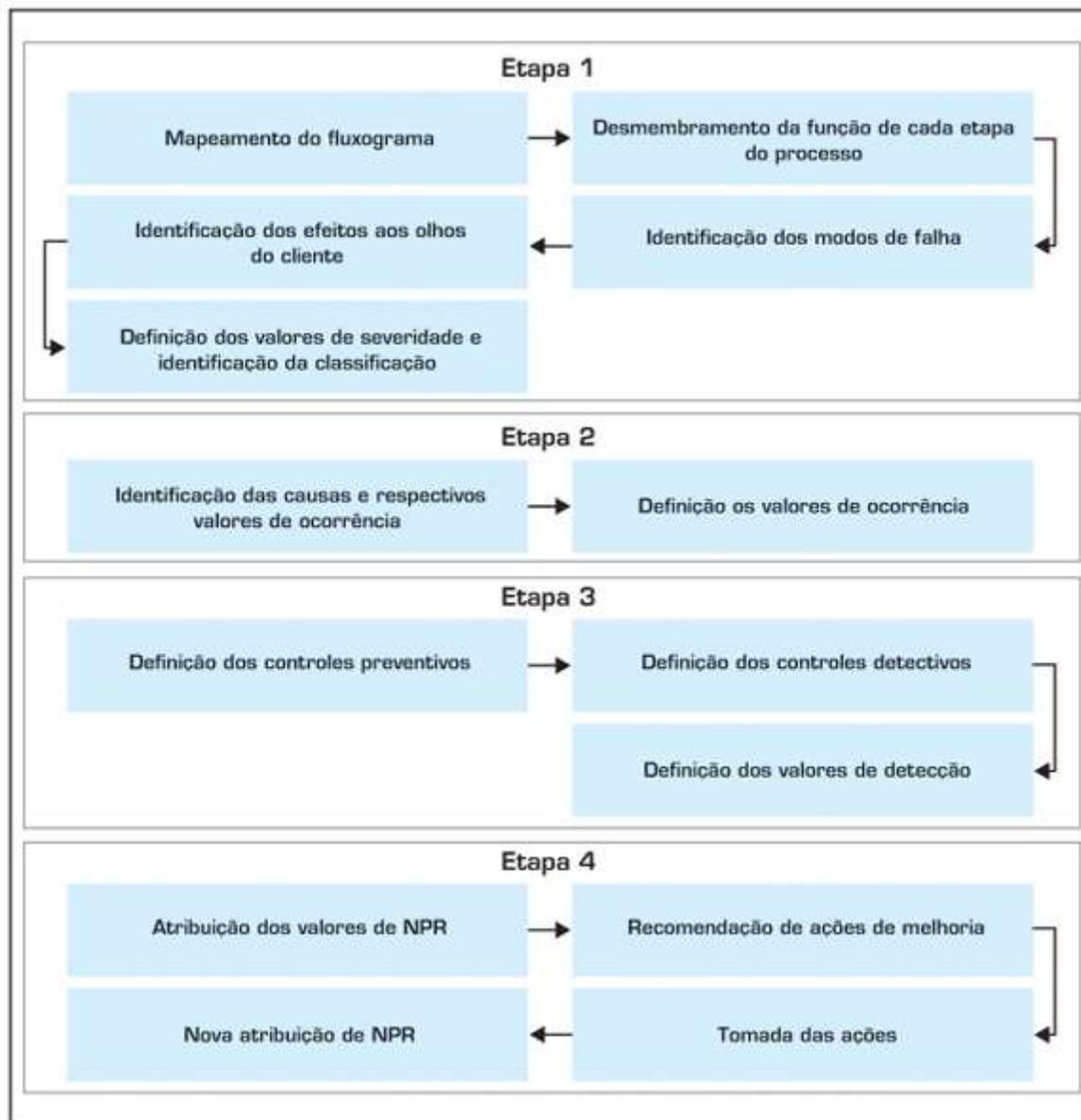


Figura 14 – Preenchimento do formulário de FMEA de Processo.
Fonte: Aguiar e Salomon (2007)

Essas etapas são preenchidas da mesma maneira que o formulário de FMEA de projeto.

PLAN-DO-CHECK-ACTION – PDCA

PDCA são as siglas das palavras em inglês de P – *Plan* (planejar), D – *Do* (fazer), C – *Check* (verificar) e A – *Action* (agir) que são as quatro fases do método.

O Ciclo PDCA tem como estágio inicial o planejamento da ação, em seguida tudo o que foi planejado é executado, gerando, posteriormente, a necessidade de checagem constante destas

ações implementadas. Com base nesta análise e comparação das ações com aquilo que foi planejado, o gestor começa então a implantar medidas para correção das falhas que surgiram no processo ou produto (PERIARD, 2011).

P-Plan (planejar) nesta etapa deve-se estabelecer as metas e identificar as causas que impedem o sucesso das metas esperadas. Tendo todos os dados é feito o planejamento das ações necessárias.

D-Do (fazer) todas as metas e planos de ação devem ser executadas e devidamente registradas.

C-Check (chechar) após planejar e o plano ser posto em pratica é preciso monitorar e checar os resultados, avaliando os processos e resultados confrontando com o planejado, gerando relatórios específicos.

A-Action (agir) é preciso tomar providencias sobre as avaliações e relatórios gerados na etapa *Check*, caso necessário gerar novos planos de ação visando sempre a melhor qualidade do processo e aprimorando os processos da empresa.



Figura 15 – Ciclo PDCA.
Fonte: Periard (2011).

O PDCA por ser um ciclo deve “girar” constantemente, não tendo um fim obrigatório. Ao final do primeiro ciclo inicia-se um novo planejamento PDCA para melhorias, essa continuidade dos ciclos garante o sucesso da aplicação da ferramenta.

Otimização do uso dos recursos, diminuição dos custos em um trabalho planejado são umas das vantagens da utilização do método de qualidade.

DIAGRAMA DE ISHIKAWA

O Diagrama de Ishikawa foi criado por Kaoru Ishikawa, o diagrama tem forma de uma espinha de peixe e serve para organizar o processo, dividindo os processos complexos em processos mais simples, tornando-os mais controláveis.

Uma ferramenta muito utilizada para a identificação das causas do problema é a realização do *brainstorming*, sua tradução seria “explosão de ideias”. O *brainstorming* é uma técnica de geração de ideias a partir da discussão em grupo, assim todos do grupo podem expor suas ideias e opiniões.

O número de causas encontradas pode ser dividido em famílias de causas ou categorias, são elas:

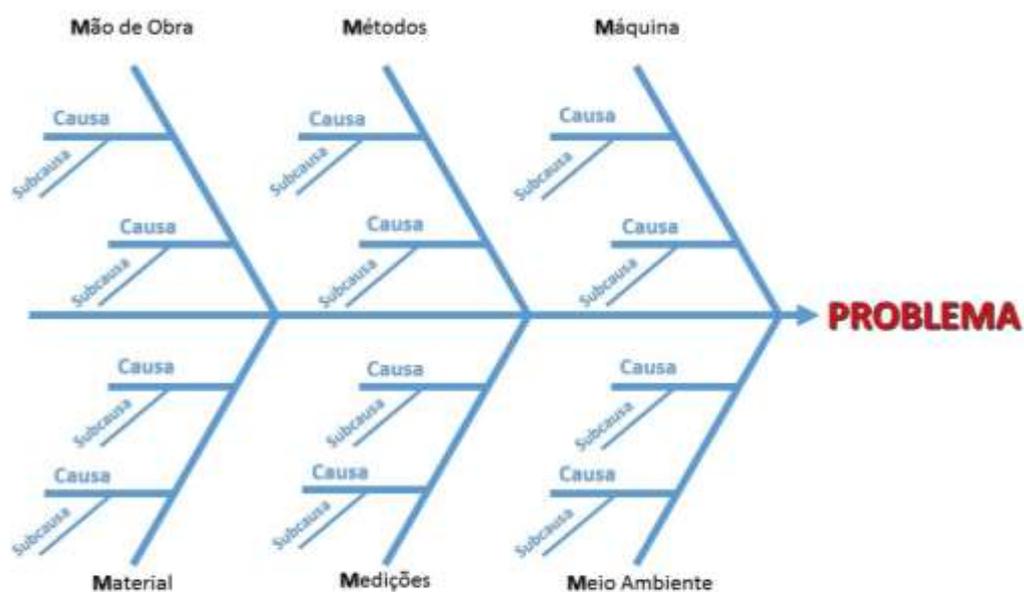


Figura 16 – Diagrama de Ishikawa
Fonte: Adaptado de Leite (2015).

Assim que identificado o problema a ser analisado deve-se juntar todas as informações necessárias sobre o problema. Através do brainstorming as informações obtidas devem ser apresentadas de forma agrupada, sendo interessante a formação da equipe do *brainstorming* por pessoas envolvidas diretamente com o problema e pessoas de outras áreas para perspectivas adversas que agregam ao diagrama. As informações devem ser organizadas da melhor forma possível, dispensando as informações descartáveis e mantendo apenas as causas relevantes para uma análise profunda das causas da falha em estudo. Após a análise das causas do problema é feito o plano de ação a ser adotado e definido a equipe responsável, também é estabelecido prazo para conclusão de cada ação.

O diagrama de Ishikawa auxilia qualitativamente os envolvidos no processo, permitindo melhor visualização das possíveis causas do efeito indesejado. Sua forma em camadas estabelece maior controle sobre o problema analisado, sendo de grande utilização para o meio empresarial.

5 POR QUÊS

O método dos 5 Por Quês consiste em depois de determinar o problema fazer a pergunta por quê por 5 vezes, sempre relacionado a causa anterior, para determinar a causa raiz da falha em estudo, mas nada impede que mais ou menos que 5 por quês sejam feitas, a quantidade de por quês feita é de acordo com a necessidade para que se encontre a causa raiz.

Segundo Qualidade Total (2014) “o ser humano tende a culpar alguma coisa ao invés de raciocinar e realmente procurar a causa. Geralmente se diz que:

No 1º porquê, temos um sintoma

No 2º porquê, temos uma desculpa

No 3º porquê, temos um culpado

No 4º porquê, temos uma causa

No 5º porquê, temos a causa raiz”

Abaixo exemplo (Qualidade Simples, 2015) dos 5 Por quês aplicado em problema de atrasos nos produtos:

1. Por que os produtos têm sido entregues sistematicamente com atraso?
Porque foram postados com atraso.
2. Por que os produtos foram postados com atraso?
Porque o prazo de produção estourou.

3. Por que o prazo de produção estourou?

Porque os materiais para a confecção não estavam disponíveis.

4. Por que os materiais não estavam disponíveis?

Porque não foram solicitados a tempo ao fornecedor.

Após o uso dos 5 por quês é possível detectar a falha principal do processo: a falta de eficiência no gerenciamento de estoques, o que indicava uma falha de terceiros após a utilização do método foi identificada falha interna.

Apesar dessa ferramenta não substituir métodos mais completos de qualidade essa ferramenta pode ser usada em qualquer área por sua simplicidade, sendo útil para o dia a dia, sempre gerando resultados de grande impacto.