

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

RODRIGO MARCACINE RESENDE

**APLICAÇÃO DA ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE PARA A
ANÁLISE DE CAUSA RAÍZ DE ACIDENTES DO TRABALHO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2019

RODRIGO MARCACINE RESENDE

**APLICAÇÃO DA ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE PARA A
ANÁLISE DE CAUSA RAIZ DE ACIDENTES DO TRABALHO**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

CURITIBA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DA ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE PARA A ANÁLISE DE CAUSA RAIZ DE ACIDENTES DO TRABALHO

por

RODRIGO MARCACINE RESENDE

Esta monografia foi apresentada em 31 de outubro de 2019, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Wanderson Stael Paris, MSc.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Dedico este trabalho à minha amada esposa Anna Augusta, filho Arthur e ao bebê que está a caminho, pelos momentos de ausência nos finais de semana e pelo apoio incondicional na busca em comunhão dos objetivos familiares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pela oportunidade de poder realizar esta especialização.

Agradeço a Nossa Senhora por interceder por nós e possibilitar o crescimento espiritual.

Agradecimento eterno a minha família, esposa e filho, pais, irmãos, pois sem eles os meus esforços não fariam sentido.

Agradeço ao Orientador, Prof. Dr. Marcelo Rodrigues, por todo o apoio e conhecimento repassado durante aulas e conversas sobre a confiabilidade humana. Ao Coorientador, Emerson Rigoni, profissional e professor renomado da área da Engenharia da Confiabilidade.

A todos os professores desta Especialização, pois cada um contribuiu para o meu aprimoramento profissional.

Meu reconhecimento pelos meus colegas de trabalho do Departamento de Segurança do Trabalho pelo espírito de equipe e por acreditar no nosso trabalho.

Meu agradecimento também as equipes que fizeram parte das comissões de análise de acidentes e executaram os trabalhos propostos com determinação.

Meu agradecimento de coração à Companhia Paranaense de Energia (Copel), excelente lugar para se trabalhar, que incentiva seus empregados para constantes desafios a partir da atualização e formação profissional, assim como por ter financiado parte do curso de especialização.

O meu mandamento é este: Amem-se uns aos outros como eu os amei. (João, 15:12)

RESUMO

RESENDE, Rodrigo Marcacine. **APLICAÇÃO DA ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE PARA A ANÁLISE DE CAUSA RAIZ DE ACIDENTES DO TRABALHO**. 2019. 109. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

As organizações enfrentam desafios na busca de melhores resultados para a saúde e segurança de sua força de trabalho, sobretudo na redução das ocorrências envolvendo acidentes com lesão. A partir deste cenário, as empresas empreendem esforços e ações para mitigar estes eventos indesejáveis, no entanto, sem ter a certeza da eficiência do labor despendido. Por isto, esta monografia apresenta a aplicação da análise de causa raiz de acidentes do trabalho no âmbito da concessionária de energia elétrica do Estado do Paraná a partir da aplicação das ferramentas da engenharia da confiabilidade e administração. Utiliza-se as ferramentas do Diagrama de Ishikawa aliada a técnica dos 5 Porquês para identificar as situações geradoras de acidentes e as suas respectivas causas raízes, assim como ferramentas da qualidade para registrar e acompanhar as ações propostas. Para possibilitar analisar e verificar as tendências, melhoras e pioras do processo, assim como prever a sua evolução a partir das ações implementadas foi utilizado o método da engenharia da confiabilidade denominado crescimento monitorado da confiabilidade. Por fim, foi aplicado a técnica de análise hierárquica dos processos com a finalidade de priorizar a implantação das ações mitigadoras propostas. O trabalho realizado identificou as principais situações geradoras de acidentes da organização e suas respectivas causas raízes, com a proposição de ações preventivas e mitigadoras de acidentes do trabalho, além de permitir o acompanhamento da evolução das ações implementadas através do crescimento monitorado da confiabilidade.

Palavras-chave: Acidentes do trabalho. Causa-raiz. Confiabilidade. Hierárquica.

ABSTRACT

RESENDE, Rodrigo Marcacine. **IMPLEMENTATION OF RELIABILITY ENGINEERING FOR ANALYSIS OF THE ROOT CAUSE OF WORK ACCIDENTS.** 2019. 109. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Organizations face challenges in seeking better health and safety outcomes for their workforce, particularly in reducing incidents involving injury accidents. From this scenario, companies undertake efforts and actions to mitigate these undesirable events, however, without being sure of the efficiency of the labor spent. For this reason, this monograph presents the application of root cause analysis of occupational accidents within the electric utility of the state of Paraná from the application of reliability engineering tools and administration. The tools of the Ishikawa Diagram combined with the 5 Whys technique are used to identify accident-generating situations and their respective root causes, as well as quality tools to record and monitor proposed actions. In order to analyze and verify the trends, improvements and worsening of the process, as well as to predict its evolution from the implemented actions, the reliability engineering method called monitored growth of reliability was used. Finally, the hierarchical process analysis technique was applied in order to prioritize the implementation of the proposed mitigating actions. The work identified the main situations that generate accidents of the organization and their respective root causes, with the proposition of preventive actions and mitigating occupational accidents, as well as allowing the monitoring of the evolution of actions implemented through the monitored growth of reliability.

Palavras-chave: Work accidents. Root Cause. Reliability. Hierarchical.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas Realizadas pelas Comissões	29
Figura 2 - Pareto dos Quase Acidentes	30
Figura 3 - Quadro Branco para Convergência de Ideias	31
Figura 4 - Comunicado Interno	31
Figura 5 - Etapas e Responsabilidades das Comissões	32
Figura 6 - Caderno Estatístico	33
Figura 7 - Metas Definidas para as Comissões: Tempo Médio Acumulado	34
Figura 8 - Diagrama de Ishikawa	35
Figura 10 - Método 5W2H	36
Figura 11 - <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP)	37
Figura 12 - Modelo Relatório 3 Gerações	38
Figura 13 - Metodologia para verificação do Crescimento Monitorado da CH	44
Figura 14 - Etapas da Metodologia	55
Figura 15 - Comissões de Estudo	60
Figura 16 - Caderno Estatístico - Capa	62
Figura 17 - Caderno Estatístico - Sumário e Lista de Figuras	62
Figura 18 - Etapas para o RCA	64
Figura 19 - Métricas do Crescimento Monitorado da Confiabilidade	65
Figura 20 - Meta para o MTBA igual a 60	68
Figura 21 - Síntese Trânsito	69
Figura 22 - Hierarquização do Problema	72
Gráfico 1 - Visualização Gráfica do Crescimento Monitorado da CH	44
Gráfico 2 - Variação da intensidade de falhas	46
Gráfico 3 - Variação da Intensidade de falhas, acumuladas e instantâneas	46
Gráfico 4 - Curva de Crescimento Monitorado da Confiabilidade	65
Gráfico 5 - Gráfico Linear Curva de Crescimento Monitorado da Confiabilidade	66
Gráfico 6 - Intensidade de Falha versus o Tempo	67
Gráfico 7 - Gráfico Linear Intensidade de Falha versus o Tempo	67
Gráfico 8 - Dados Situação Geradora Trânsito	70
Gráfico 9 - MTBA 2017 a junho/2019	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - A “escala de importância fundamental”, proposta por Saaty (1995).....	50
Tabela 2 - Valores de RI para uso no cálculo da relação de consistência, primeira versão proposta por Saaty	52
Tabela 3 - Valores recalculados de RI, segunda versão proposta por Saaty	53
Tabela 4 - Avaliação dos Critérios.....	73
Tabela 5 - Prazo de Execução	73
Tabela 6 - Facilidade de Implementação	74
Tabela 7 - Efetividade da Ação	74
Tabela 8 - Priorização Final.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

5W2H	<i>What, When, Who, Why, Where, How Much, How</i>
AT	Acidente do Trabalho
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AMSAA	<i>Army Materiel Systems Analysis Activity</i>
CA	Comissão de Análise
CG	Comissão Gestora
CI	<i>Consistency Index</i>
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
CH	Confiabilidade humana
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
CO	Conhecimento Organizacional
CR	<i>Consistency Ratio</i>
CTPS	Carteira de Trabalho e Previdência Social
FAP	Fator Acidentário de Prevenção
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
FMEA	Análise do modo e do efeito da falha
FMECA	Análise do modo de falha, do efeito e da criticidade
FTA	Análise da árvore de falha
GT	Grupo de Trabalho
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
MTBA	Tempo médio entre acidentes
NHPP	<i>Non Homogeneous Poisson Process</i>
NR	Norma Regulamentadora
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
RCA	<i>Root Causes Analysis</i>
RGA	<i>Reliability Growth and Repairable System Analysis</i>
RI	<i>Random Index</i>
SAT	Seguro de Acidente de Trabalho
SST	Saúde e Segurança do Trabalho
SESMT	Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho
TMEF	Tempo médio entre falhas

LISTA DE SÍMBOLOS

λ - Lambda. Refere-se à taxa de falhas

λ_i - Lambda. Refere-se a intensidade de falhas instantânea

λ_a - Lambda. Refere-se a intensidade de falhas acumulada

η - Eta. Refere-se a taxa característica de falha referida à vida característica da distribuição Weibull

β - Beta. Refere-se ao Parâmetro de forma da distribuição Weibull

θ_a - Teta. Refere-se ao tempo médio entre falhas acumuladas

θ_i - Teta. Refere-se ao tempo médio entre falhas instantâneas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo Geral.....	18
1.2.2	Objetivos Específicos	18
1.3	JUSTIFICATIVA	19
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	20
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	O ACIDENTE DO TRABALHO	22
2.1	CONCEITO LEGAL	22
2.2	CONCEITO PREVENCIONISTA.....	22
2.3	CONSEQUÊNCIAS DOS ACIDENTES.....	23
2.3.1	Efeitos trabalhistas	24
2.3.2	Efeitos previdenciários	24
2.3.3	Efeitos da responsabilidade civil trabalhista	24
2.3.4	Efeitos criminais	25
2.4	A ANÁLISE DE ACIDENTES DO TRABALHO.....	25
2.4.1	Por que analisar?	26
2.5	ANÁLISE E INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES NA ORGANIZAÇÃO	27
2.5.1	A proposta de análise sistêmica dos acidentes	28
2.5.2	Diagrama do Pareto e Quadro Branco	29
2.6	FORMALIZAÇÃO DAS COMISSÕES DE ESTUDO	31
2.6.1	Responsabilidades das Comissões.....	32
2.6.2	Dados disponibilizados.....	33
2.6.3	Definição de Metas e Indicador	34
2.7	BRAINSTORMING E DIAGRAMA DE ISHIKAWA	35
2.8	TÉCNICA DOS 5 PORQUÊS	35
2.9	BRAINSTORMING E PLANO DE AÇÃO.....	36
2.10	METODOLOGIA AHP	37
2.11	RELATÓRIO DAS 3 GERAÇÕES	37
2.12	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	38
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	39
3.1	ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE	39
3.2	ANÁLISE DE CAUSA RAÍZ - RCA	40
3.2.1	Primeiro passo: Montar time multidisciplinar	41
3.2.2	Segundo passo: Definir a falha.....	41
3.2.3	Terceiro passo: Definir se a falha é crônica ou esporádica	41
3.2.4	Quarto passo: Análise da causa raiz.....	41
3.2.5	Quinto passo: Propor ações para eliminar a causa raiz	42
3.3	O CRESCIMENTO MONITORADO DA CONFIABILIDADE.....	42
3.3.1	Crescimento Monitorado da Confiabilidade Humana	43

3.3.2	O Modelo CROW-AMSAA (NHPP).....	45
3.4	O MÉTODO AHP.....	47
3.4.1	Etapas de construção.....	48
3.4.1.1	Primeiro passo: organizando de forma hierárquica.....	49
3.4.1.2	Segundo passo: comparando as características.....	49
3.4.1.3	Terceiro passo: usando a escala de valores.....	50
3.4.1.4	Quarto passo: normalizar as comparações.....	51
3.4.1.5	Quinto passo: Calcular a relação de consistência.....	51
3.4.1.6	Sexto passo: Aplicar os passos acima para todas as alternativas.....	53
3.4.1.7	Resultado final.....	54
3.5	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	54
4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	55
4.1	SITUAÇÃO PROBLEMA.....	56
4.2	COLETA E PREPARAÇÃO DOS DADOS.....	56
4.2.1	Principais Situações Geradoras.....	56
4.2.1.1	Batida.....	57
4.2.1.2	Eletricidade.....	58
4.2.1.3	Ser Vivo.....	58
4.2.1.4	Queda/Mau Jeito.....	59
4.2.1.5	Trânsito.....	60
4.3	FORMALIZAÇÃO DAS COMISSÕES DE ESTUDO.....	60
4.3.1	Caderno Estatístico.....	61
4.3.2	Apresentação da Metodologia.....	63
4.3.2.1	Crescimento Monitorado da Confiabilidade.....	64
4.4	SITUAÇÃO GERADORA TRÂNSITO.....	68
4.4.1	Síntese do GT Trânsito.....	69
4.4.2	Crescimento Monitorado da Confiabilidade.....	69
4.4.2.1	Resultados da AHP.....	71
4.4.2.2	Resultados dos Julgamentos.....	72
4.5	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	75
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	77
5.2	RECOMENDAÇÕES.....	78
	REFERÊNCIAS.....	79
	APÊNDICE A – Síntese do estudo realizado pelo GT Trânsito.....	82
	APÊNDICE B – Dados Confiabilidade Trânsito 2016.....	84
	APÊNDICE C – Dados Confiabilidade Trânsito 2017.....	89
	APÊNDICE D – Dados Confiabilidade Trânsito 2018.....	94
	APÊNDICE E – Dados Confiabilidade Trânsito 2016 a 2018.....	99
	APÊNDICE F – Dados Confiabilidade Trânsito 2017 a junho/2019.....	105

1 INTRODUÇÃO

O cenário econômico e social contemporâneo demonstra a relevância de alterar o contexto no qual a segurança do trabalho está inserida no âmbito das organizações, no sentido de ser destacada como uma ferramenta estratégica para o sucesso da organização, em vez de estigmatizar a função segurança do trabalho como um processo que atua de forma reativa e que somente gera custos.

Diante disto, a empresa sob análise, vêm trabalhando fortemente, ao longo de sua existência, na gestão dos acidentes¹, quase acidentes² e desvios³ ocorridos durante a execução das atividades desenvolvidas pelos seus empregados e contratados, doravante denominados como força de trabalho, com o propósito de prevenir a materialização dos acidentes e implementar ações preventivas e corretivas sempre que necessário. Isto fica evidenciado no seu referencial estratégico no qual a segurança do trabalho faz parte dos seus valores, bem como no seu mapa estratégico onde se busca promover a excelência na segurança e saúde no trabalho.

Cumprido evidenciar que a concessionária de energia elétrica em questão atua no segmento de distribuição de energia elétrica, com abrangência na região Sul, representando 395 municípios.

Por conseguinte, fica demonstrada a gama de atividades diárias realizadas pela força de trabalho em diversos ambientes, com expectativa de aproximadamente 10.000 serviços realizados diariamente em áreas perigosas do sistema elétrico de potência.

Vale ressaltar ainda que estas áreas perigosas, na maioria das vezes, são agressivas e compreendem áreas urbanas, rurais e marítimas, com riscos

¹ Acidente do Trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa, no exercício de suas atividades, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte, a perda ou redução, temporária ou permanente, da capacidade para o trabalho.

² Quase Acidente: é a ocorrência anormal que contém evento perigoso ou indesejado, mas não evolui para evento danoso.

³ Desvios: Qualquer ação ou condição com potencial para resultar, direta ou indiretamente, em danos às pessoas, ao patrimônio, ou impacto ao meio ambiente.

significativos de acidentes cujas situações geradoras são diversas e abrangem desde a eletricidade até os atos de agressão oriundos de terceiros, entre outras.

A partir do cenário apresentado, fica evidenciado que ações isoladas se tornam insuficientes para se buscar a excelência na segurança do trabalho e, por consequência, o tratamento dos desvios, quase acidentes e acidentes do trabalho.

Por isto, é necessário a adoção de práticas sistêmicas ao longo da área de concessão da empresa e a atuação em conjunto dos profissionais do SESMT, das CIPAs, lideranças e força de trabalho.

A partir de uma abordagem sistêmica para a análise de causa raiz de acidentes do trabalho e com o objetivo principal de reduzir a sua ocorrência no tempo, foi proposto pelo autor a utilização de ferramentas da engenharia da confiabilidade, qualitativas e quantitativas, para o levantamento das situações geradoras e suas respectivas causas, a implementação de ações para a prevenção e mitigação destes eventos e o acompanhamento da evolução através de indicador apropriado utilizando o crescimento monitorado da confiabilidade, além de envolver toda a força de trabalho distribuída ao longo da concessão da empresa.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

As perdas nas corporações decorrentes de acidentes, em sua maioria, são assimiladas como ocorrências intempestivas ou até mesmo fortuitas. No entanto, nesta pesquisa aplicada, será considerado como premissa que todo acidente é inevitável quando se estabelece uma gestão eficaz e integrada dos acidentes, quase acidentes e desvios ocorridos na organização. Vale ressaltar ainda que:

- os desvios e os quase acidentes são um prenúncio para a ocorrência de situações indesejáveis;
- pode-se aplicar a Regra do Pareto para identificar as principais causas dos acidentes do trabalho, haja vista que 20% das situações geradoras dos acidentes do trabalho representam mais de 80% das ocorrências;
- é fundamental para a organização controlar os riscos que ameaçam a organização, ou seja, os acidentes graves e os acidentes fatais;

- as ações de prevenção para a segurança do trabalho devem permear toda a força de trabalho.

Embora as organizações, através do SESMT e da CIPA, realizam a análise e investigação dos acidentes de trabalho e, por conseguinte, recomendam medidas para a solução dos problemas identificados, fica evidenciado a execução de uma prática reativa, haja vista que nem sempre as causas raízes dos acidentes são detectadas e as análises e investigação ocorrem sempre após a ocorrência dos eventos indesejáveis. Vale ressaltar ainda que grande parte das ações propostas, executadas de maneira isolada, não alcançam os resultados esperados, ou ainda, não existem ferramentas e métodos apropriados para avaliar a eficácia destas ações.

As investigações de perdas têm um caráter reativo, pois se inicia a ação corretiva com a investigação, somente após ter ocorrido a perda efetiva. Isto significa que um provável dano irreparável ao meio ambiente ou um acidente fatal já ocorreu e agora se buscarão as causas no intuito de evitar sua reincidência. Porque aprender pela dor da perda ou pelo prejuízo financeiro? Provavelmente esta não é a melhor maneira de aprendizado, ou pelo menos sabemos que é uma forma reativa de aprendizado e que não contribui adequadamente com a necessidade de aumento de produtividade de uma organização. (SANTOS, 2009, p. 19).

SANTOS (2009) afirma que a partir deste contexto, percebe-se dois problemas, um de natureza temporal e outro de natureza específica, no que diz respeito à metodologia de investigação de perdas.

A partir disto, SANTOS (2009), na sua tese de Mestrado, defende que a análise dos acidentes necessita de uma metodologia estruturada, em forma e tempo, para investigação das causas, não apenas dos acidentes, mas também dos desvios e dos “quase acidentes”, para então assegurar a não ocorrência de um evento indesejável e não apenas evitar a reincidência de evento semelhante ao que foi investigado com o acidente.

Em função das dificuldades apresentadas, este trabalho vem propor uma metodologia para estudo das ocorrências de acidentes do trabalho de forma sistêmica, a partir da análise de causa raízes - RCA utilizando o diagrama de Pareto, a identificação de riscos maiores, o Diagrama de Ishikawa, a técnica dos 5 porquês, reuniões de *braisntorming*, elaboração de plano de ação, priorização das ações

através de ferramenta de administração e implantação de indicador apropriado capaz de prever as melhorias e pioras do processo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo aplicar ferramentas da engenharia da confiabilidade, qualitativa e quantitativa, a partir de uma metodologia aplicada, na empresa já referenciada, para a análise de causa raízes de acidentes do trabalho, com a proposição de ações e indicador para acompanhar a eficácia e o desempenho do dispêndio de energia e recursos implementados para a prevenção e mitigação das ocorrências indesejáveis.

1.2.2 Objetivos Específicos

Esta pesquisa aplicada terá os seguintes objetivos específicos:

- Pesquisar métodos e ferramentas para a investigação e análise de acidentes do trabalho, sobretudo acerca da sua aplicabilidade para a utilização na sistemática proposta;
- Pesquisar os métodos quantitativos da engenharia da confiabilidade mais adequados para efetuar análises sobre o tempo médio entre as ocorrências de acidentes do trabalho e avaliar o crescimento da confiabilidade a partir da implementação de ações de prevenção;
- Aplicar a regra do Pareto para identificar as situações geradoras de acidentes e quase acidentes que ocorrem com maior frequência na organização;
- Identificar os riscos mais importantes relacionados à atividade da organização, ou seja, os acidentes com maior grau de severidade e os acidentes fatais;
- Divulgar e formalizar comunicação formal na empresa para a criação de grupos de trabalho para o estudo sobre a ocorrência de acidentes do

trabalho, determinação de ações no âmbito da concessionária de energia elétrica para a prevenção dos acidentes e acompanhamento da evolução das medidas preventivas;

- Definir a metodologia e a estrutura para que os grupos de trabalho executem a aplicação da análise de causa raiz (RCA) dos acidentes do trabalho, a partir da utilização das ferramentas da qualidade e de gerenciamento de risco;
- Disponibilizar um caderno estatístico sobre os acidentes e quase acidentes para que os grupos de trabalho possam efetuar os estudos acerca das ocorrências e aplicar a metodologia proposta;
- Definir indicadores e metas para os grupos de trabalho a partir da utilização do crescimento monitorado da confiabilidade (indicador que prevê a melhoria dos processos);
- Propor ações de prevenção para a ocorrência de acidentes do trabalho;
- Validar e definir prioridade para as ações oriundas das comissões de análise, a partir de ferramenta de administração;
- Acompanhar a evolução das medidas preventivas e a sua relação com a ocorrência dos acidentes do trabalho;
- Prevenir a ocorrência dos acidentes do trabalho.

1.3 JUSTIFICATIVA

A promoção da excelência em segurança do trabalho é mais do que uma questão de redução de perdas provenientes de acidentes, é uma questão de moral e ética por se tratar da vida das pessoas. Diante disto esse trabalho se justifica e contribui para as seguintes situações:

- A aplicação da metodologia proposta busca, sobretudo, prevenir a ocorrência dos acidentes do trabalho e, por conseguinte, eliminar os prejuízos decorrentes de sua materialização;
- Encontrar as causas raízes dos acidentes do trabalho a partir do envolvimento da força de trabalho distribuída no estado do Paraná;
- Mapear os eventos topos e intermediários que contribuem para a ocorrência do acidente do trabalho;

- Sugerir novo indicador de acompanhamento para a segurança do trabalho;
- Aprimorar o conhecimento da cultura da segurança do trabalho da empresa, a partir do acompanhamento da evolução das medidas preventivas e a sua relação com a ocorrência dos acidentes do trabalho.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Luna (1997) define que pesquisa é a produção de um novo conhecimento, significativo dentro do contexto teórico e social, preenchendo uma lacuna importante em uma determinada área de conhecimento. Gil (2002) destaca que a pesquisa é uma atividade racional e sistemática, exigindo que as ações por ela produzidas sejam planejadas em todas suas etapas.

As etapas abrangem desde a escolha do tema, o planejamento da investigação, o desenvolvimento metodológico, a coleta e a tabulação de dados, a análise dos resultados, a elaboração das conclusões e finalizando a divulgação de resultados (SILVA e MENEZES, 2005).

Para realização deste trabalho, optou-se por uma pesquisa de natureza aplicada, com enfoque prático.

Para se atingir os objetivos propostos, a pesquisa utilizou-se uma revisão bibliográfica atualizada, identificando o tema sob o contexto e percepção de vários autores, sendo consultadas obras técnicas, didáticas, científicas e publicações em periódicos.

O processo de revisão bibliográfica foi delimitado aos seguintes temas: (i) Análise de Causa Raiz, sua conceituação; (ii) Aplicação do crescimento monitorado da confiabilidade; (iii) Confiabilidade Humana e (iv) Aplicação da metodologia AHP.

A implantação da metodologia RCA contemplou as fases: (i) identificação das principais situações geradores de acidentes através dos diagramas de Pareto e os riscos mais importantes relacionados à atividade da organização, ou seja, os acidentes de alta severidade e os acidentes fatais;; (ii) segmentação do estudo das ocorrências em grupos de trabalho; (iii) representação dos eventos topos e intermediários através do diagrama de Ishikawa; (iv) aplicação das técnicas dos 5 porquês para identificar as causas raízes; (v) reuniões de *brainstorming* para buscar

soluções para as causas; (vi) seleção das ações através da técnica de análise hierárquica de processos; (viii) acompanhamento da evolução das ações implementadas através de método crescimento monitorado da confiabilidade e (ix) melhoria contínua.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é apresentado e estruturado nos seguintes capítulos:

No capítulo 1 são realizados os comentários iniciais, apresentação e justificativa do tema, exposição dos objetivos, métodos de pesquisa e estrutura do trabalho.

No capítulo 2 é apresentado o objeto da pesquisa e descreve-se as etapas para a análise de causa raiz para o estudo sobre as ocorrências de acidentes do trabalho.

No capítulo 3 são revisados os conceitos e definições empregados na RCA e no crescimento monitorado da confiabilidade, sua evolução temporal, descrição das ferramentas utilizadas e descrição da técnica para análise hierárquica de processos.

No capítulo 4 é apresentada a aplicação da RCA, com uma breve descrição operacional das etapas. Em seguida apresenta-se o estudo de caso da aplicação do modelo e da metodologia RCA na redução de ocorrências de acidentes do trabalho.

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

2 O ACIDENTE DO TRABALHO

Para elucidar a problemática envolvendo as ocorrências imprevistas e indesejadas nas organizações serão apresentados os conceitos legais e prevencionista do acidente do trabalho e as suas respectivas consequências e seus efeitos maléficos para a vítima, empresa, sociedade e nação.

Santana e Nobre (2005) afirmam que os acidentes de trabalho (AT) constituem o principal agravo à saúde dos trabalhadores no Brasil. Dados oficiais revelam verdadeira epidemia com elevados custos humanos, sociais e financeiros. Estes autores afirmam ainda que os acidentes se tratam de eventos complexos e multicausais, socialmente determinados, quase sempre previsíveis e preveníveis, com origens em rede de múltiplos fatores técnicos e sociais em interação.

2.1 CONCEITO LEGAL

Concernente ao seu aspecto legal, a lei 8.213 de 24 de julho de 1991, do Ministério da Previdência e Assistência Social, em seu artigo 19 define o acidente do trabalho nos seguintes termos:

Acidente do trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados... [o segurado empregado, trabalhador avulso, bem como com o segurado especial, no exercício de suas atividades], provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte; perda ou redução, temporária ou permanente, da capacidade para o trabalho (MPAS, Lei 8.213, 1991, art.19).

Cumprido evidenciar que o conceito legal se restringe ao acidente com ferimento, ou seja, acidente com lesão.

2.2 CONCEITO PREVENICIONISTA

Segundo a ABNT NBR 14280 de 2001, acidente de trabalho é a ocorrência imprevista e indesejável, instantânea ou não, relacionada com o exercício do trabalho, que resulte ou possa resultar lesão pessoal.

Já o conceito prevencionista, conforme mencionado acima, abrange os acidentes com lesão e os quase acidentes.

2.3 CONSEQUÊNCIAS DOS ACIDENTES

Oliveira (2013) explana em seu artigo que o acidente de trabalho é uma questão extremamente aflitiva, que gera graves consequências. O trabalhador atingido por tal infortúnio muitas vezes fica inválido ou até mesmo é levado a óbito. Sendo assim, tal questão repercute de forma negativa não somente perante o empregado, mas também em face de sua família, empresa e toda a sociedade.

Sá et al (2017) evidencia que os custos com acidentes de trabalho não podem ser analisados sob um único prisma, possuindo três espécies, sendo os custos diretos, indiretos e humanos.

A Estratégia Nacional para Redução dos Acidentes do Trabalho (2015) relata que os custos diretos são os despendidos para o tratamento e reabilitação médica. As despesas indiretas são as relacionadas as perdas de oportunidade pelo empregado, empregador, família e sociedade, abrangendo gastos previdenciários, salariais, administrativos e perda da produtividade. Os custos humanos indicam a piora na qualidade de vida do trabalhador e sua família.

No ano de 2011, ao avaliar as três dimensões, constatou-se que o Brasil gasta em média R\$ 71 bilhões por ano, o que equivale ao expressivo percentual de 9% de toda a folha salarial do país. Os empregadores representam a quantia aproximada de R\$ 41 bilhões, já a Previdência Social importa o valor de R\$ 14 bilhões e os trabalhadores implicam na importância de R\$ 16 bilhões (PASTORE, 2011).

Nada obstante, o fator mais importante não pode ser estimado, visto que o sofrimento que suporta o trabalhador e sua família ao ser atingido pelo sinistro é inestimável.

Desta maneira, podemos elencar as consequências dos acidentes do trabalho nas seguintes esferas, relacionadas abaixo, conforme descrito por Silva (2011) no artigo da Revista do Tribunal Regional do Trabalho da 1ª Região:

2.3.1 Efeitos trabalhistas

- a) Interrupção do contrato de trabalho nos primeiros 15 dias do acidente;
- b) Suspensão do contrato após o 15º dia de afastamento;
- c) Garantia de emprego de 12 meses após a alta médica do INSS;
- d) Reintegração no emprego em caso de despedida ilegal do trabalhador acidentado;
- e) Direito à readaptação do empregado acidentado;
- f) Registro do acidente na CTPS do empregado (art. 30 da CLT);
- g) Contagem do tempo de serviço e recolhimento do FGTS do período de afastamento, inclusive para fins de férias.

2.3.2 Efeitos previdenciários

- a) Emissão da Comunicação de Acidente de Trabalho - CAT;
- b) Concessão de auxílio-doença acidentário ou aposentadoria por invalidez;
- c) Concessão de auxílio-acidente;
- d) Pensão por morte (em caso de falecimento do trabalhador);
- e) Ação regressiva da Previdência Social em face do empregador para reembolso das despesas com o acidentado (art. 120 da Lei 8.213/91);
- f) Possibilidade de aumento da alíquota do Seguro de Acidente de Trabalho - SAT (em razão do Fator Acidentário de Prevenção - FAP).

2.3.3 Efeitos da responsabilidade civil trabalhista

- a) Indenização por danos materiais (indenização de todas as despesas hospitalares, médicas, exames, acompanhamento de enfermagem, remédios – presentes e futuros, pensionamento pela perda ou redução da capacidade laborativa, pensão pela morte do trabalhador, pelo luto da família, funeral);
- b) Concessão de plano de saúde ou equivalente para atender a todas as necessidades médicas do empregado;

- c) Concessão, manutenção e troca de prótese;
- d) Indenização por danos imateriais;
- e) Indenização por danos estéticos;
- f) Indenização pela frustração dos planos de vida;
- g) Constituição de capital garantidor.

2.3.4 Efeitos criminais

- a) Responsabilização penal pelo descumprimento das normas de proteção ao trabalho (art. 19, parágrafo 2º, da Lei 8.213/91);
- b) Possível caracterização de dolo eventual.

A partir do exposto fica evidente a imprescindibilidade de analisar e investigar as causas raízes dos acidentes do trabalho com propósito de se adotar medidas preventivas e corretivas para eliminar a sua reincidência, bem como identificar os riscos críticos para a organização.

2.4 A ANÁLISE DE ACIDENTES DO TRABALHO

Em virtude de todos os efeitos maléficos decorrentes dos acidentes do trabalho, torna-se relevante que as organizações analisem as causas dos acidentes e incidentes com propósito de prevenir a sua ocorrência, além de buscar eliminar e controlar os riscos que ameaçam a organização.

Se bem analisados, os acidentes são oportunidades de aprendizado organizacional abrindo possibilidade de prevenção de novas ocorrências (VILELA et al., 2012).

O Guia de Análise de Acidentes de Trabalho (2010) explana que as informações sobre acidentes e incidentes de trabalho permitem que se aperfeiçoem:

- a) As normas de segurança e saúde no trabalho;
- b) As concepções e os projetos de máquinas, equipamentos e produtos;
- c) Os sistemas de gestão das empresas;
- d) O desenvolvimento tecnológico;

- e) As condições de trabalho;
- f) A confiabilidade dos sistemas.

A investigação de acidentes de trabalho (AT) constitui importante ferramenta para o desenvolvimento do sistema de gerenciamento de riscos das empresas. Através de uma boa análise de acidente, pode-se compreender o que ocorreu, como o trabalho foi realmente executado, como e por que as coisas deram errado. Reconhecendo-se as deficiências no controle de riscos no trabalho, alterações e melhorias da gestão de segurança e saúde no trabalho podem ser implementadas a fim de prevenir outros eventos adversos (Guia de Análise de Acidentes, 2010).

Aprender sobre o que ocorre e sobre o que pode ocorrer em um sistema produtivo é essencial para a prevenção e efetuar boas análises de eventos adversos possibilita compreender os riscos, solucionar problemas e proteger pessoas (Guia de Análise de Acidentes, 2010).

2.4.1 Por que analisar?

O Guia de Análise de Acidentes de Trabalho (2010) explana, conforme texto apresentado a seguir, os motivos para se analisar os acidentes do trabalho:

- Acidentes e doenças relacionados ao trabalho causam sofrimento e problemas para os trabalhadores, suas famílias, outras pessoas e as empresas;
- Acidentes e doenças relacionados ao trabalho geram custo elevado para as empresas e para a sociedade;
- Análises de eventos adversos constituem importante ferramenta para o desenvolvimento e refinamento do sistema de gerenciamento de riscos;
- Adequada avaliação das condições de segurança e saúde proporciona conhecimento dos riscos associados com as atividades laborais, contribuindo para a transformação das condições de trabalho;
- Medidas de controle de risco bem planejadas, associadas com supervisão adequada, monitoramento e gestão efetiva de SST, podem garantir que as atividades no trabalho sejam seguras.

Além dos motivos acima relacionados, diversas razões legais justificam a realização das análises:

- As Normas Regulamentadoras determinam que as empresas analisem e capacitem os trabalhadores para realizar análises de acidentes de trabalho;
- As Normas Regulamentadoras exigem ainda que os empregadores planejem, controlem e monitorem as condições de saúde e segurança do trabalho, inclusive fornecendo aos trabalhadores informações sobre riscos e medidas de controle;
- A Previdência Social, por meio de ações regressivas, pode pleitear o ressarcimento dos benefícios decorrentes de acidentes e doenças do trabalho cujos fatores relacionados incluam a não observação das normas de segurança e saúde no trabalho;
- A legislação previdenciária prevê a majoração das alíquotas do Seguro de Acidente do Trabalho - SAT em função da incidência de acidentes e doenças relacionados ao trabalho na empresa;
- A Constituição Federal, em seu artigo 7º, inciso XXVIII, estabelece indenização por danos decorrentes do trabalho;
- Código Civil prevê indenizações em certas circunstâncias, independentemente de dolo ou culpa por parte das empresas.

2.5 ANÁLISE E INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES NA ORGANIZAÇÃO

Em conformidade com a NR-05 (COMISSÃO INTERNA DE PREVENÇÃO DE ACIDENTES – CIPA), faz parte das responsabilidades da CIPA participar, em conjunto com o SESMT, onde houver, ou com o empregador da análise das causas das doenças e acidentes de trabalho e propor medidas de solução dos problemas identificados.

Diante disto, a empresa sob análise executa a investigação e análise dos acidentes a partir dos grupos de trabalho, existentes nas diversas CIPAs, que são responsáveis pelas análises de acidentes em conjunto com os integrantes do SESMT.

2.5.1 A proposta de análise sistêmica dos acidentes

Porquanto, a partir da dimensão territorial que a empresa atua, existem CIPAs distribuídas ao longo de toda a sua concessão, cujas análises e investigações de acidentes e suas respectivas recomendações, na maioria das vezes, são realizadas de maneira descentralizada.

SANTOS (2009) relata em sua tese de mestrado que por mais eficaz que seja o processo de investigação de acidentes, se uma organização permanecer apenas com atuação reativa, chegará a um ponto de saturação do processo de melhoria contínua dos resultados e indicadores de SMS do seu processo. Com base nas teorias japonesas Kaizen⁴ e Kaikaku⁵ de melhoria contínua, após um estágio de saturação, é necessário implementar algumas mudanças com objetivo de continuar a melhoria do processo. Geralmente precede algum investimento da organização, como preconiza Kairyo⁶.

Em virtude disso, foi proposto pelo autor a criação de comissões para executar o estudo sistêmico, e não apenas descentralizado, acerca das ocorrências de acidentes do trabalho a partir de metodologias e ferramentas apropriadas e, por conseguinte, propor ações no âmbito da companhia para a prevenção dos acidentes e acompanhamento da evolução das medidas preventivas a partir do crescimento monitorado da confiabilidade.

Para entender melhor o que seria atuar de maneira reativa, imagina as situações onde as equipes das CIPAs e SESMT se ocupam constantemente para investigar e analisar a ocorrência de situações indesejáveis no trabalho. Nestas situações, existe tempo despendido em demasia para tentar encontrar as causas dos incidentes ocorridos, sobrecarregando as equipes e gerando recomendações e

4 Kaizen - Mudança para melhor, é uma palavra de origem japonesa com o significado de melhoria contínua, gradual, na vida em geral.

5 Kaikaku – Também de origem japonesa assim como Kaizen, requer uma mudança para continuar a melhoria.

6 Palavra japonesa que se refere às melhorias conseguidas nas empresas através de investimentos significativos em equipamentos, procedimentos, pesquisa e desenvolvimento. Tais melhorias requerem um plano de prioridades da alta administração, face aos custos envolvidos.

ações para a mitigação de ocorrências semelhantes. No entanto, na maioria das vezes, as ocorrências se repetem e não é possível afirmar de maneira assertiva se as ações e recomendações propostas foram eficazes.

Para que as comissões realizem os seus trabalhos, foi proposto a metodologia de análise de causa raiz - RCA em conjunto com indicador que utiliza o método do crescimento monitorado da confiabilidade.

Figura 1 - Etapas Realizadas pelas Comissões



Fonte: Autor (2019).

A figura 1 apresenta, de forma sintetizada, as etapas que as comissões cumpriram para a aplicação da metodologia proposta pelo autor:

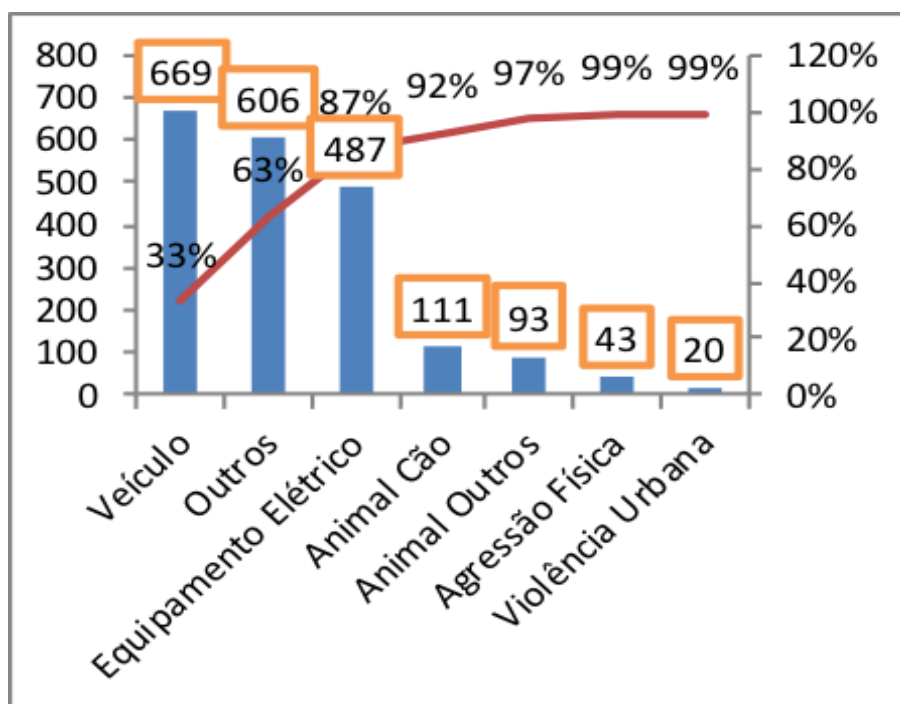
2.5.2 Diagrama do Pareto e Quadro Branco

DIAS, et al (2013) no livro Metodologia para análise de risco: mitigação de perda de SF6 em disjuntores, relata que para a definição do sistema que será analisado e, deste, coleta das informações necessárias para sua análise funcional e seleção dos eventos de topo e/ou efeitos indesejados que serão analisados, pode

ser útil a utilização concomitante de técnicas como Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Pareto.

Foi utilizado o Diagrama de Pareto para identificar e evidenciar as principais situações geradoras de acidentes do trabalho, a partir da coleta de dados dos anos de 2016 a 2018 referentes a acidentes, quase acidentes, desvios e resultados de inspeções de segurança realizadas em campo.

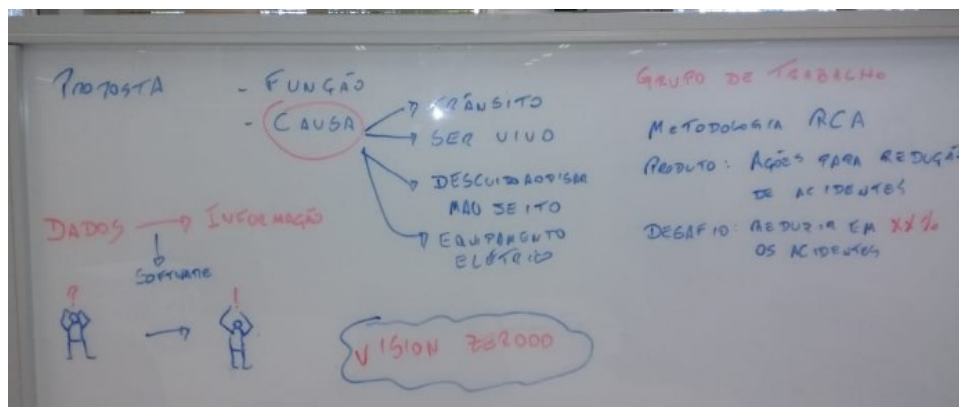
Figura 2 - Pareto dos Quase Acidentes



Fonte: Autor (2019)

A partir dos diagramas de Pareto elaborados, os integrantes do SESMT reuniram-se para execução de *brainstorming* para definir as situações geradoras de acidentes do trabalho que seriam analisadas pelas comissões.

Figura 3 - Quadro Branco para Convergência de Ideias



Fonte: Autor (2019)

Para convergência e registro das ideias geradas durante a reunião, foi utilizado o quadro branco, conforme figura 3, com propósito de estimular a criatividade.

2.6 FORMALIZAÇÃO DAS COMISSÕES DE ESTUDO

Com o objetivo de definir as responsabilidades das comissões de estudo acerca de ocorrências de acidentes do trabalho, foi formalizado e publicado no âmbito da companhia um comunicado interno que contém os seus respectivos propósitos, a composição dos grupos, as suas responsabilidades e os seus prazos de entregas, com a assinatura pelo diretor presidente da referida empresa.

Figura 4 - Comunicado Interno

a Diretoria deliberou, com vigência a partir desta data:

1. CONSTITUIR comissões permanentes — gestora e de análise —, tendo como principais atribuições:

- 1.1. Comissão Gestora:
 - Identificar as principais causas, circunstâncias e consequências dos acidentes do trabalho ocorridos na XXXXXXX;
 - Definir a metodologia para que as comissões executem a aplicação da análise de causa raiz (RCA) dos acidentes do trabalho, a partir da utilização das ferramentas da qualidade e de gerenciamento de risco;
 - Disponibilizar um caderno estatístico sobre acidentes, quase acidentes;
 - Definir indicadores e metas para as comissões;
 - Validar e definir prioridade para as ações oriundas das comissões de análise;
 - Efetuar a supervisão e auxílio referente as atividades das comissões de análise;
 - Determinar a constituição de novas comissões de análise sempre que necessário; e
- 1.2. Comissão de Análise:
 - Aplicar a metodologia de análise de causa raiz (RCA) dos acidentes do trabalho definida pela comissão gestora;
 - Promover integração com as CIPAs e setoriais de segurança acerca de ações oriundas de acidentes e medidas de prevenção de acidentes do trabalho;
 - Maximizar as ações das CIPAs oriundas das análises de acidentes para o âmbito da XXXXXXX;
 - Propor ações de prevenção para a ocorrência de acidentes do trabalho;
 - Convidar sempre que necessário, empregados para contribuir com os trabalhos da comissão;
 - Acompanhar a evolução das medidas preventivas e a sua relação com a ocorrência dos acidentes do trabalho.

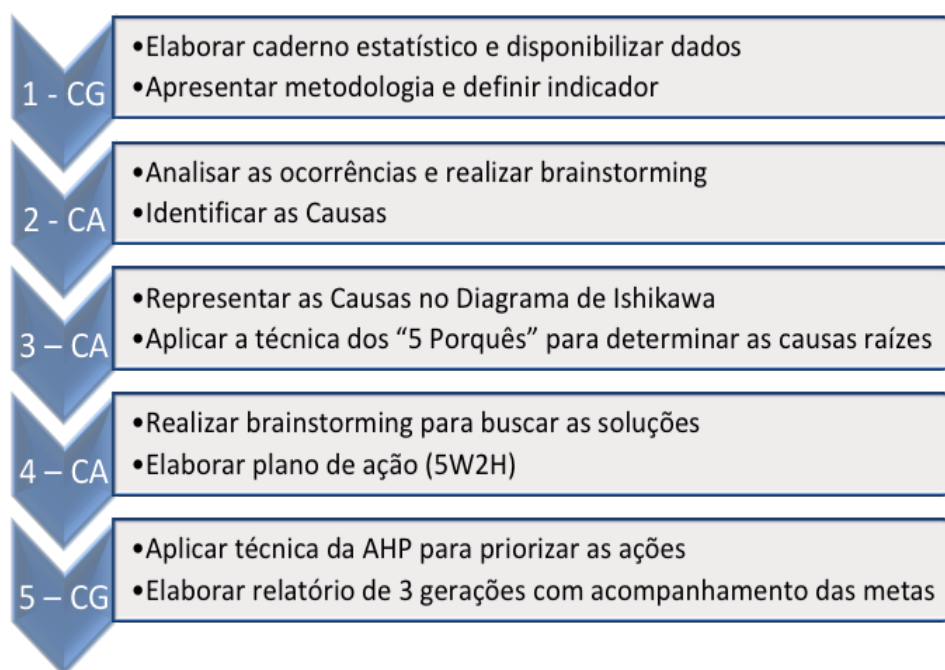
Fonte: Autor (2019)

É importante destacar que a formalização das comissões de estudo a partir de um comunicado interno divulgado a todos os empregados com a anuência da alta direção demonstra o compromisso da companhia com os seus valores e o anseio para a prevenção e redução da ocorrência de acidentes do trabalho.

2.6.1 Responsabilidades das Comissões

Após a emissão do comunicado, a comissão gestora formada pela área de engenharia de segurança do trabalho, apresentou a metodologia e a dinâmica proposta para as comissões de análise distribuídas ao longo de sua concessão.

Figura 5 - Etapas e Responsabilidades das Comissões



Fonte: Autor (2019)

A figura 5 representa as etapas e as responsabilidades da comissão gestora e das comissões de análise.

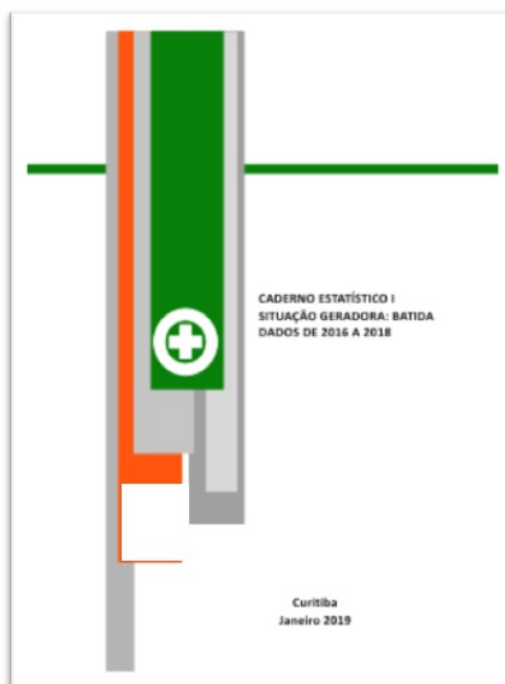
2.6.2 Dados disponibilizados

Foi elaborado pelo autor do trabalho um caderno estatístico das principais situações geradoras de acidentes verificados, após a aplicação da regra do Pareto, que visa auxiliar a análise dos acidentes típicos relacionados ao trabalho ocorridos na empresa em questão, a partir da disponibilização de dados quantitativos e qualitativos, referente aos anos de 2016 a 2018.

As situações geradoras dos acidentes e suas respectivas descrições de classificação, foram definidas pela ABNT NBR 14280⁷ de 2001.

O caderno elaborado teve como propósito ser a fonte inicial de dados e informações para que as comissões de análise executem a aplicação da metodologia proposta de análise de causa raiz.

Figura 6 - Caderno Estatístico



Fonte: Autor (2019)

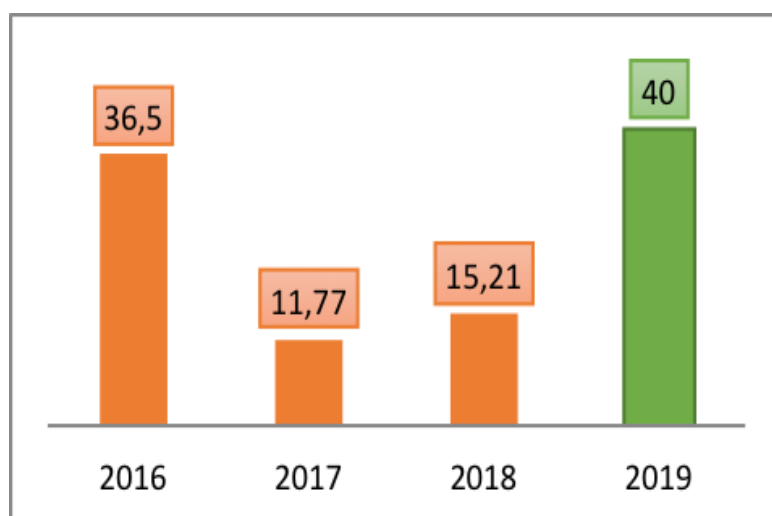
⁷ ABNT NBR 14280:2001 - Cadastro de acidente do trabalho - Procedimento e classificação

Cumprir evidenciar que os desvios e quase acidentes são um prenúncio para a ocorrência de acidentes, por isto é relevante que as comissões não dirijam o seu foco apenas para os acidentes, mas também para a redução dos desvios e dos quase acidentes, de maneira que as atitudes prevencionistas ocorram antes que os acidentes se materializem. Diante disto, também foi sugerido para as comissões a análise dos quase acidentes.

2.6.3 Definição de Metas e Indicador

Para que a efetividade das ações propostas pelas comissões seja avaliada foi calculado o tempo médio entre acidentes utilizando o método da engenharia da confiabilidade denominado crescimento monitorado da confiabilidade, referente aos anos de 2016 a 2018.

Figura 7 - Metas Definidas para as Comissões: Tempo Médio Acumulado



Fonte: Autor (2019)

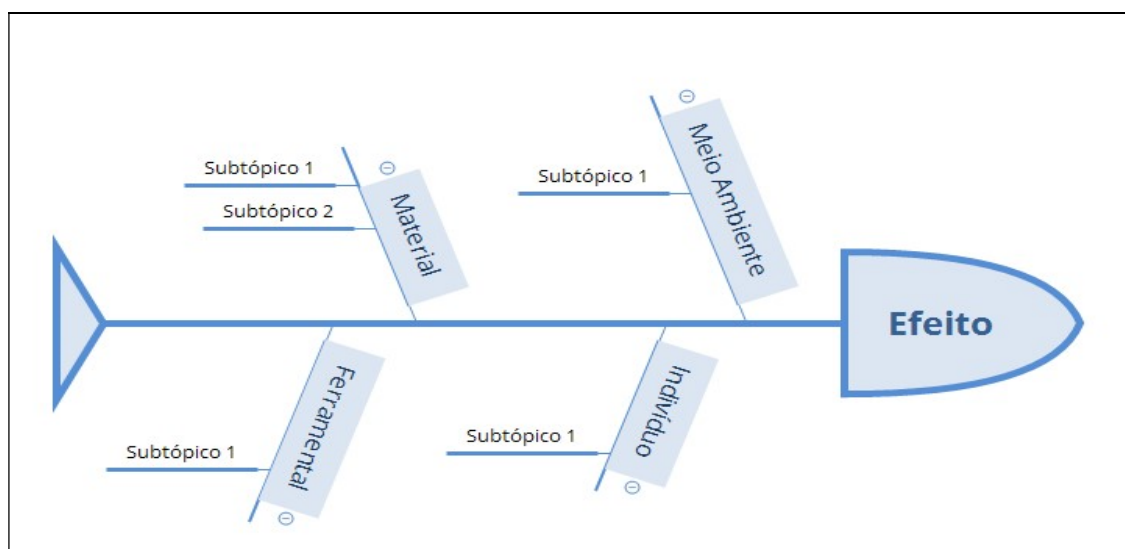
A partir dos cálculos foi definido a meta desafio para as comissões, referente aos tempos médios entre acidentes acumulado - MTBA. A figura 7 representa os tempos médios calculados de 2016 a 2018 e a meta desafio para 2019 para uma das cinco situações geradoras estudadas.

2.7 BRAISNTORMING E DIAGRAMA DE ISHIKAWA

O diagrama de Ishikawa pode ser utilizado como ferramenta para estruturação de reuniões de *brainstorming* com o objetivo de identificar as causas básicas dos eventos intermediários e de topo (DIAS; *et al.*, 2013).

As reuniões de *brainstorming* podem auxiliar a organização das discussões entre os membros das equipes e também entre as equipes quando da tomada de decisões em relação aos estudos realizados e na programação das ações a serem feitas (DIAS; *et al.*, 2013).

Figura 8 - Diagrama de Ishikawa



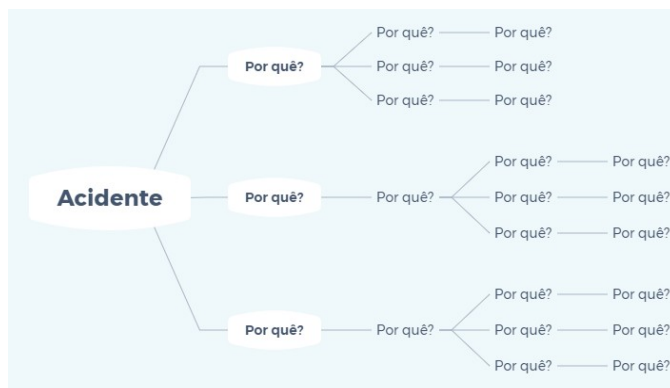
Fonte: Autor (2019)

Foi solicitado para as comissões a realização de reuniões de *brainstorming* e a utilização do diagrama de Ishikawa para a estruturação das ideias geradas e os eventos topos e intermediários, relacionados aos acidentes de trabalho.

2.8 TÉCNICA DOS 5 PORQUÊS

A partir da estruturação dos eventos topos e intermediários que provocam a ocorrência de acidentes do trabalho, estruturados no diagrama de Ishikawa, foi

solicitado as comissões a aplicação da técnica dos 5 Porquês. Figura 9 - Técnica dos 5 Porquês



Fonte: Autor (2019)

A técnica dos 5 Porquês é uma prática utilizada na solução de falhas com objetivo de investigar as relações entre causa e efeito com a finalidade de detectar a causa raiz.

2.9 BRAINSTORMING E PLANO DE AÇÃO

Nesta etapa, após a aplicação da técnica dos 5 Porquês, foi solicitado as comissões de análise a execução de *brainstorming* com propósito de indicar ações para a prevenção e mitigação da ocorrência de acidentes em função das causas raízes apontadas na técnica dos 5 Porquês.

Figura 10 - Método 5W2H



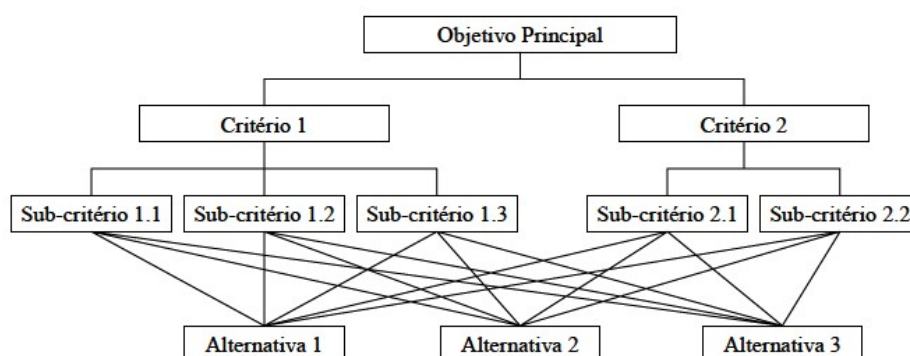
Fonte: Autor (2019)

As ações propostas foram estruturadas no método 5W2H que, por sua simplicidade e objetividade permite orientar as ideias a partir de planos de ação.

2.10 METODOLOGIA AHP

Para priorizar as ações foi utilizada a metodologia AHP. O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método para auxiliar as pessoas na tomada de decisões complexas.

Figura 11 - *Analytic Hierarchy Process* (AHP)



Fonte: OLIVEIRA e BELDERRAIN, 2008

Mais do que determinar qual a decisão correta, o AHP ajuda as pessoas a escolher e a justificar a sua escolha.

2.11 RELATÓRIO DAS 3 GERAÇÕES

Para realizar o giro do PDCA dos trabalhos desenvolvidos pelas comissões, após a sua finalização, será utilizado o relatório de 3 gerações que identifica o que foi planejado, o que foi executado, os resultados, os pontos problemáticos e as propostas.

Figura 12 - Modelo Relatório 3 Gerações

Passado		Presente		Futuro
PLANEJADO	EXECUTADO	RESULTADOS	PONTOS PROBLEMÁTICOS	PROPOSIÇÃO
O que se pretendeu fazer.	O que foi feito.	Mostrar de forma gráfica e/ou textual, os resultados bons e ruins. Preferencialmente de forma <u>quantitativa</u> .	O que foi ruim ? Por que foi ruim ?	O que deve ser feito sobre o que foi ruim?

Fonte: Desconhecida

2.12 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado os conceitos sobre o acidente do trabalho, no seu aspecto legal e prevencionista, bem como a relevância de se investigar e analisar os acidentes como forma de aprendizado e prevenção de ocorrências similares.

Foi demonstrado também, de forma sintetizada, as etapas para a aplicação da análise de causa raiz proposta pelo autor.

No próximo capítulo serão apresentados os conceitos das ferramentas da engenharia da confiabilidade utilizadas para a aplicação da análise de causa raiz.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será abordado o embasamento teórico das ferramentas da engenharia da confiabilidade utilizadas para a aplicação da análise de causa raiz de acidentes do trabalho

O conteúdo apresentado neste capítulo é de extrema relevância para o estudo do caso aplicado, haja vista que toda a fundamentação teórica será abordada no desenvolvimento das etapas seguintes.

3.1 ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

Confiabilidade é um atributo muito importante para produtos e sistemas e permeia todo o ciclo de vida. É multidisciplinar e engloba especialidades e especialistas em engenharia, estatística, matemática, computação, física, química, entre outras. Há autores que denominam de Engenharia de Confiabilidade. Sua aplicação está estruturada em técnicas de análise e de síntese, entre as quais: análise da árvore de falha (FTA), análise do modo e do efeito da falha (FMEA), análise do modo de falha, do efeito e da criticidade (FMECA), análise da causa raiz (RCA - *Root Cause Analysis*), análise da causa de falha de modo comum e de técnicas associadas ao atributo da qualidade (DIAS, 2005).

A confiabilidade é um elemento chave para o sucesso dos ativos no setor comercial, industrial e para o meio ambiente como um todo. A confiabilidade se propõe a determinar a probabilidade do ativo cumprir sua função ao longo do ciclo de vida. A partir das técnicas de análise é possível gerenciar o ciclo de vida do item, na medida em que estabelece estruturas e técnicas para definir a probabilidade de ocorrência da falha baseado no tempo, acompanhar o desenvolvimento da falha baseado na condição ou eliminar a falha para um tempo de vida considerado a partir de ações de projeto (DIAS; et al., 2013).

A partir da utilização das ferramentas da engenharia da confiabilidade, o autor propõe avaliar as causas raízes dos acidentes do trabalho e monitorar o crescimento da confiabilidade, isto é, potencializar a capacidade da organização em desenvolver as suas atividades ausentes de ocorrências de acidentes do trabalho no

tempo, a partir da implantação de ações mitigadoras e acompanhamento da evolução e tendências das melhorias implementadas.

3.2 ANÁLISE DE CAUSA RAÍZ - RCA

A análise de causa raiz, também conhecida como RCA, é um método que permite a identificação e correção dos principais fatores que ocasionaram o problema. Esse método visa descobrir os defeitos originais (causa raiz) que geraram o problema, ao invés de buscar soluções imediatas para a resolução de um defeito (SILVEIRA & GOMES, 2011).

RCA é uma ferramenta projetada para auxiliar a identificar não apenas “o que” e “como” um evento ocorreu, mas também “por que” ele ocorreu. Somente quando é identificado o motivo original de um defeito ter ocorrido, será viável gerar ações para que não volte a ocorrer (RUPPENTHAL, 2013).

Segundo Sharma e Sharma (2010), RCA é uma terminologia encontrada na literatura de confiabilidade para evitar a ocorrência de futuras falhas, definindo as causas raízes dos eventos ocorridos.

Já segundo Rooney e Vanden Heuvel (2004), o RCA é uma ferramenta projetada para o uso investigativo na identificação da causa raiz de um evento, o qual pode ser com segurança, saúde, meio ambiente, qualidade e impactos na produção.

A investigação do evento utilizando a ferramenta RCA busca identificar não somente como o evento ocorreu, mas também porque ele aconteceu (ROONEY e VANDEN HEUVEL, 2004).

Para a aplicação do RCA, sugere-se a utilização de uma combinação de técnicas, permitindo uma maior exatidão na identificação da causa raiz: Diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa; Cinco porquês e Reunião de análise causal (brainstorming).

A utilização da ferramenta RCA não evita a busca de soluções imediatas sempre que ocorrer algum defeito de produção, avaliando somente os sintomas. Sugere, no entanto, que o defeito seja tratado, mas não seja fechado até que seja analisado e identificado à causa original que o fez ocorrer (RUPPENTHAL, 2013).

O método de utilização do RCA, proposto por Downing (2004), apresenta cinco passos para o RCA, e também apresenta a forma de utilizar a árvore dos porquês na identificação da causa raiz:

3.2.1 Primeiro passo: Montar time multidisciplinar

O primeiro elemento da RCA é para montar uma equipe de pessoas mais capacitadas para entender e analisar informações originadas das falhas. A equipe incluirá pessoas com técnicas e conhecimento prático (DOWNING, 2004).

3.2.2 Segundo passo: Definir a falha

Desenvolver uma definição comum para a falha a ser analisada. No caso de uma falha crônica, realizar um FMEA. No caso de uma falha esporádica, coletar o máximo de evidências do evento (DOWNING, 2004).

3.2.3 Terceiro passo: Definir se a falha é crônica ou esporádica

Uma vez que os modos de falhas determinados (falha crônica), desenvolver um gráfico de barras abordando o custo, baixa produção ou número de ocorrências, a falha que apresentar um maior índice deve ser estudada, ou uma falha esporádica, se for a decisão do time (DOWNING, 2004).

3.2.4 Quarto passo: Análise da causa raiz

A análise do time em seguida é desenvolver a árvore dos porquês, o coração do processo RCA. A árvore dos porquês ajuda o time a identificar a causa raiz da falha. Usando o processo “porque”, o time tem as primeiras hipóteses em potencial da causa, aprovando umas e reprovando outras. Este processo sempre identifica a causa básica que pode ter levado ao evento, não deixando pedra sobre pedra (DOWNING, 2004).

3.2.5 Quinto passo: Propor ações para eliminar a causa raiz

O próximo passo é determinar a melhor ação, que será necessária para eliminar a causa raiz. A ação proposta deve ser implementada e auditada. Deve ser feita uma verificação da eficácia da ação após um período de implementação e a causa raiz eliminada (DOWNING, 2004).

3.3 O CRESCIMENTO MONITORADO DA CONFIABILIDADE

Para apresentar a teoria do crescimento monitorado da confiabilidade, será utilizado os materiais disponíveis no:

- livro “Confiabilidade Humana: conceitos, análises, avaliação e desafios” dos autores: PALLEROSI; et al., 2011.
- manual utilizado pelo Exército Americano no desenvolvimento de armamentos militares - AMSAA RELIABILITY GROWTH HANDBOOK – 1999 (*Army Materiel Systems Analysis Activity*).
- material teórico e prático sobre engenharia da confiabilidade disponível no sitio http://reliawiki.org/index.php/Main_Page - acessado em 01/04/2019.

Segundo o AMSAA (1999), a confiabilidade é a probabilidade que um componente ou sistema execute sua função planejada para um intervalo de tempo especificado sob condições declaradas. O termo “intervalo de tempo especificado” refere-se ao cumprimento da tarefa. O termo “condições declaradas” refere-se à definição completa do enredo no qual o sistema operará. Estas condições devem refletir no uso operacional.

De acordo com Pallerosi et al. (2011) a confiabilidade humana (CH) pode ser definida como a qualidade ou estado de quem se pode confiar, ou seja, é a probabilidade de alguém ter sucesso no cumprimento da sua missão, em determinado período e condições ambientais apropriadas com recursos necessários disponíveis.

3.3.1 Crescimento Monitorado da Confiabilidade Humana

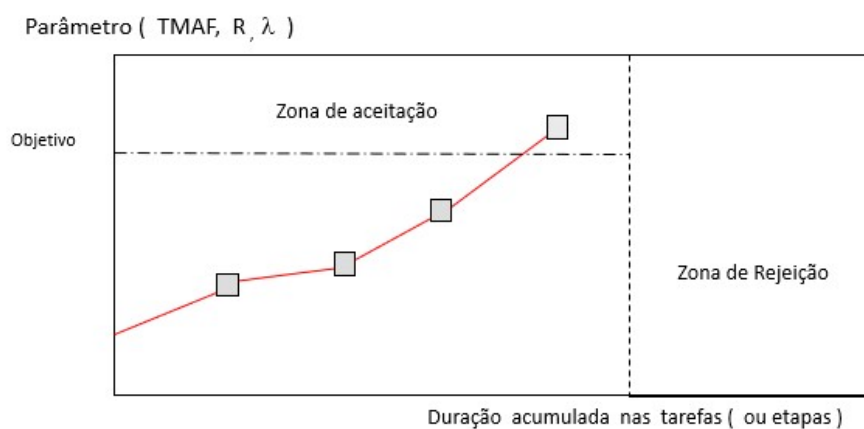
O Crescimento Monitorado da Confiabilidade Humana é uma excelente metodologia para identificação e correção das falhas humanas e deficiências do aprendizado, nas tarefas (ou missões), pelo monitoramento e contínuo aumento da confiabilidade observada, aplicando-se ações corretivas durante as etapas de seu desenvolvimento (PALLEROSI; et al., 2011).

De acordo com Pallerosi et al. (2011), o método envolve os seguintes procedimentos:

- a) A definição dos objetivos a serem atingidos (TMEF e Taxas de falhas), correspondentes aos valores máximos admissíveis;
- b) A seleção do modelo de análise (Duane, Crow, Gompertz);
- c) Os dados de entrada (agrupados, não-agrupados);
- d) A visualização gráfica do crescimento (TMEF, Taxas de Falhas);
- e) A análise e adoção de medidas corretivas (treinamento, dispositivos auxiliares e outros);
- f) A efetivação das melhoras e da capacidade do operador em executá-las.

Para cada etapa ou fase do treinamento verifica-se a duração e a quantidade de falhas ocorridas no período, e calcula-se o valor do parâmetro desejado (TMEF, Confiabilidade, Taxa de falha) e compara-se com o objetivo desejado, ou seja, seu valor mínimo. A continuação do aprendizado (novas etapas) implicaria em novos valores, crescentes ou decrescentes, até um valor de decisão após o qual pode-se concluir que o treinamento foi eficaz (zona de aceitação) ou não (zona de rejeição). O gráfico 1 apresenta este procedimento básico de quantificação, para as distribuições (PALLEROSI; et al., 2011).

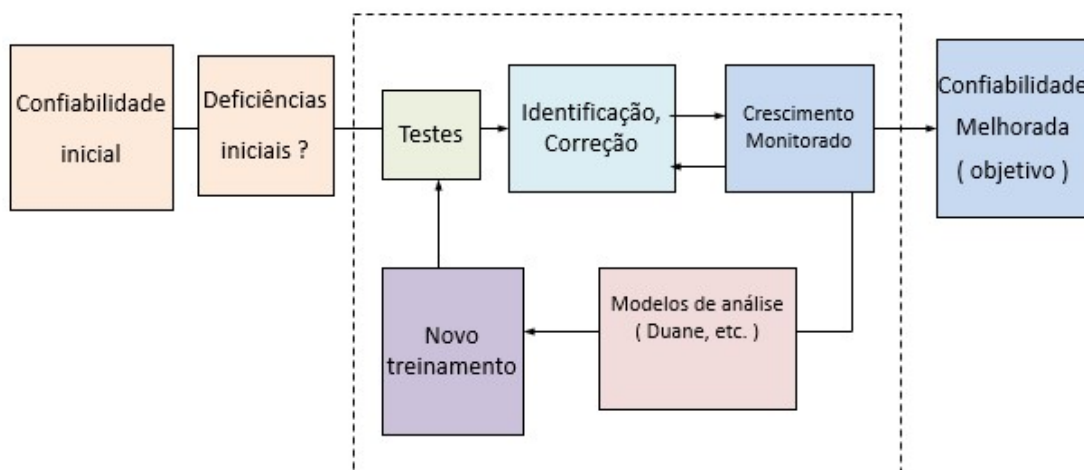
Gráfico 1 - Visualização Gráfica do Crescimento Monitorado da CH



Fonte: Pallerosi et al. (2011)

Os procedimentos básicos no decorrer do treinamento são apresentados na figura 13.

Figura 13 - Metodologia para verificação do Crescimento Monitorado da CH



Fonte: Pallerosi et al. (2011)

A partir de uma dada confiabilidade inicial, por exemplo, a quantidade de falhas observadas no início da missão, verifica-se as deficiências do operador e o treinamento prossegue até um dado ponto (quantidade de tarefas), aplica-se o

modelo admitido e se necessário prolonga-se o treinamento, como foi admitido no gráfico 1, até o ponto de aceitação ou rejeição (PALLEROSI; et al., 2011).

3.3.2 O Modelo CROW-AMSAA (NHPP)

Este modelo é particularmente apropriado quando existem várias etapas no treinamento de operadores (fases), com as melhorias introduzidas em cada etapa, até atingir o valor desejado da intensidade da taxa de falha (acumulada ou instantânea). O modelo Crow é probabilístico, baseado na distribuição tipo Weibull biparamétrica (PALLEROSI; et al., 2011).

O método foi desenvolvido pelo Dr. Larry H. Crow, admitindo que o método Duane podia ser estocasticamente representado por uma distribuição tipo Weibull, a partir do método AMSAA (*Army Material Systems Analysis Activity*) e do método NHPP (*Non Homogeneous Poisson Process*) (PALLEROSI; et al., 2011).

De acordo com Pallerosi et al. (2011), a característica básica do método é a linearidade da variação da Intensidade de falhas instantâneas $\lambda_i(t)$, dada pela equação $\lambda_i(t) = (\lambda_0 \cdot \beta) \cdot t^{\beta-1}$ válida para os valores $t > 0$, $\lambda_0 > 0$ e $\beta > 0$, onde:

$$\lambda_0 = \frac{1}{\eta^\beta}$$

Sendo (η) a taxa característica de falha referida à vida característica da distribuição Weibull e (β) o Parâmetro de forma da distribuição Weibull.

Aplicando-se o Logaritmo natural à equação acima resulta:

$$\ln \lambda_i(t) = \ln (\lambda_0 \cdot \beta) + (\beta - 1) \cdot \ln t \text{ ou}$$

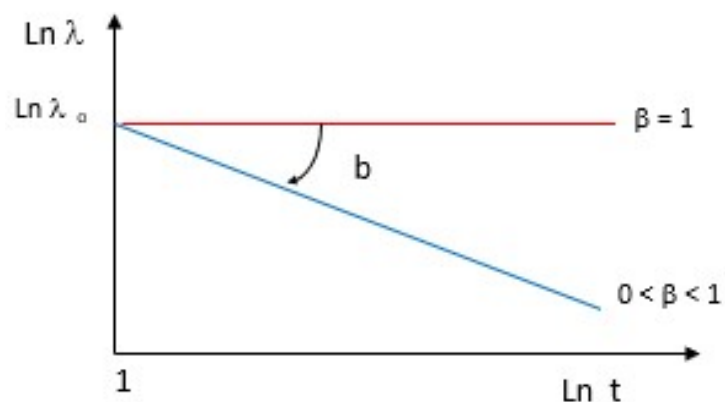
$$\ln \lambda_i(t) = a + b \cdot \ln t, \text{ com:}$$

$$a = \ln (\lambda_0 \cdot \beta)$$

$$b = \beta - 1$$

A equação acima pode ser representada por uma reta no gráfico $\ln \lambda_i(t) \times \ln t$, como indicado no gráfico 2, onde o parâmetro de posição (a) representa as condições iniciais e o parâmetro de forma (b) a inclinação da reta:

Gráfico 2 - Variação da intensidade de falhas



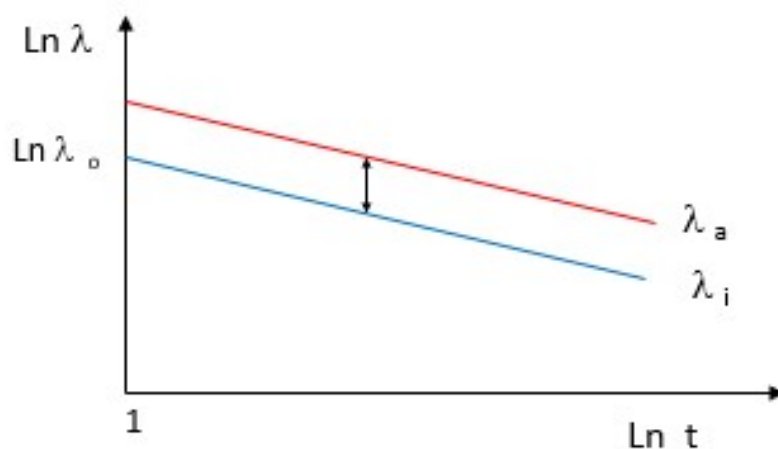
Fonte: Pallerosi et al. (2011)

Para a distribuição tipo Exponencial ($\beta = 1$) a Intensidade de falhas acumuladas é constante, ou seja, $\lambda_i(t) = \lambda_0$. Para $\beta < 1$ o valor $\lambda_i(t)$ acumulado é crescente (melhora da taxa de crescimento) e quando $\beta > 1$ ele é decrescente (piora da taxa de crescimento).

A Intensidade de falha acumulada (t) é dada por $\lambda_a(t) = (\lambda_0) \cdot t^{\beta-1}$

Comparando-se as equações resulta a relação $\lambda_i(t) = \beta \cdot \lambda_a(t)$, ou seja, as retas são paralelas.

Gráfico 3 - Variação da Intensidade de falhas, acumuladas e instantâneas



Fonte: Pallerosi et al. (2011)

O tempo médio entre falhas acumuladas (θ_a) é dado por

$$\theta_a(t) = \frac{1}{\lambda_n} \cdot t^{1-\beta}$$

O tempo médio entre falhas instantâneas (θ_i) é dado por:

$$\theta_i(t) = \frac{1}{\lambda_n \cdot \beta} \cdot t^{1-\beta}$$

Comparando-se as equações acima resulta a relação:

$$\theta_i(t) = \frac{1}{\beta} \cdot \theta_a(t)$$

Ou seja, quanto menor o valor de β maior o deslocamento da reta correspondente a $\theta_i(t)$.

A quantidade de falhas (r) é dada por:

$$r(t) = \lambda_0 \cdot t^\beta$$

Ou então, a Duração (t) correspondente a uma dada quantidade de falhas);

$$t = \left[\frac{r}{\lambda_n} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

Neste tópico foi apresentado de forma sintetizada a avaliação quantitativa do crescimento monitorado da confiabilidade humana de acordo com Pallerosi et al. (2011).

3.4 O MÉTODO AHP

O AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é uma técnica de análise de decisão e planejamento de múltiplos critérios desenvolvida por Thomas L. Saaty, em resposta ao planejamento de contingência militar e empresarial, tomada de decisão, alocação de recursos escassos, resolução de conflitos e a necessária participação política nos acordos negociados. A técnica reproduz o modo pela qual a mente humana avalia e

estrutura um problema contendo diversas variáveis. A metodologia baseia-se no princípio de que para a tomada de decisão, a experiência e o conhecimento das pessoas são pelo menos tão valioso, quanto os dados utilizados.

Segundo Schmidt (1995) “O processo permite estruturar hierarquicamente qualquer problema complexo, com múltiplos critérios; com múltiplos decisores; com múltiplos períodos. É um processo flexível, que apela para a lógica e ao mesmo tempo, utiliza a intuição. O ingrediente principal que tem levado as aplicações com o AHP a terem sucesso, é o poder de incluir e medir fatores importantes, qualitativos e/ou quantitativos, sejam eles, tangíveis ou intangíveis, e a facilidade de uso. Na aplicação são consideradas as diferenças e os conflitos de opiniões.

O decisor é o responsável pela tomada de decisões. Pode ser um único indivíduo, um grupo, uma empresa ou mesmo uma nação (SCHMIDT, 1995).

Para a descrição das etapas descritas abaixo, será utilizado o conteúdo do artigo “Considerações sobre a obtenção de Vetores de Prioridades na AHP” dos autores OLIVEIRA & BELDERRAIN, 2008.

3.4.1 Etapas de construção

O método AHP desenvolvido por Tomas L. Saaty consiste num conjunto de passos no qual todas as combinações de critérios organizadas em uma matriz são avaliadas em comparações par a par. A meta é determinar a importância relativa de cada alternativa em relação aos critérios selecionados para a avaliação. Devemos lembrar que estas importâncias serão determinadas pelas pessoas envolvidas no processo de decisão, ou seja, elas vão usar conhecimento próprio para fazer os julgamentos. Vale ressaltar que o método AHP tem a vantagem de permitir a comparação de critérios quantitativos e critérios qualitativos (OLIVEIRA e BELDERRAIN, 2008).

De acordo com Oliveira e Belderrain (2008), o método AHP constitui-se dos seguintes passos:

- a) Estruturar o problema de forma hierárquica, mostrando os elementos-chave e os relacionamentos entre critérios e alternativas;

- b) Organizar critérios e alternativas em matrizes para comparação par a par;
- c) Comparar as alternativas de modo consistente, usando o conhecimento sobre o negócio, impressões e sensações que se tenha sobre o tema. Preferencialmente adequar a comparação à escala numérica elaborada por Tomas L. Saaty;
- d) Calcular os pesos das alternativas e dos critérios dentro da hierarquia estabelecida;
- e) Calcular a relação de consistência para avaliar se o julgamento feito pelo tomador de decisão é coerente e não levará a uma decisão equivocada;
- f) Sumarizar os resultados e montar a escala final de valores com as alternativas ordenadas em ordem de preferência.

3.4.1.1 Primeiro passo: organizando de forma hierárquica

O AHP exige que o tomador de decisão estruture o problema de forma hierárquica, guiando-o através de uma série de julgamentos feitos por comparações em pares. Essa estruturação formal do problema permite que questões complexas sejam decompostas e agrupadas em conjuntos mais simples de problemas, registradas em documentos comparativos para se chegar à escolha final (OLIVEIRA & BELDERRAIN, 2008).

3.4.1.2 Segundo passo: comparando as características.

De acordo com Oliveira e Belderrain (2008), com a estrutura hierárquica definida, o próximo passo é comparar entre si os critérios dispostos no segundo nível para determinar a importância relativa de cada elemento para a obtenção da meta final.

Para fazer esta comparação, o método AHP pede que uma matriz seja montada com a quantidade de linhas e colunas na mesma quantidade que o número de critérios que estão sendo comparados.

A matriz deve ser preenchida com valores numéricos que demonstrem a importância dos critérios dispostos à frente das linhas em relação à importância dos critérios dispostos no topo de cada coluna. Um valor alto significa que aquele critério é relativamente mais importante do que o critério no topo da coluna. Quando um critério é comparado com ele mesmo, o resultado é 1 (mesma importância). Vale notar que temos uma sequência de pesos “1” na diagonal devido a este motivo.

Os valores devem ser estimados tendo como base o conhecimento sobre o negócio do tomador de decisão e seu julgamento. Aqui podemos ter o julgamento de apenas uma pessoa ou de um grupo de pessoas.

A simplicidade das comparações para-par permite que o tomador de decisão mantenha o foco em cada detalhe do problema. A possibilidade de usar a escala verbal auxilia aqueles que tenham alguma dificuldade com a escala numérica.

3.4.1.3 Terceiro passo: usando a escala de valores.

Tomas L. Saaty sugeriu o uso de uma escala padrão de valores, que variam de 1 a 9, como forma de avaliar numericamente alternativas e critérios em um processo de decisão (OLIVEIRA & BELDERRAIN, 2008).

Tabela 1 - A “escala de importância fundamental”, proposta por Saaty (1995)

Intensidade	Definição	Explicação
1	Igual importância.	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre outra.	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial.	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada.	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta.	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2,4,6,8	Valores Intermediários.	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: OLIVEIRA e BELDERRAIN, 2008

Para cada valor, Saaty preocupou-se em definir seu predicado qualitativo seguido de explicação textual, para diminuir dúvidas no momento do julgamento.

3.4.1.4 Quarto passo: normalizar as comparações

De acordo com Oliveira e Belderrain (2008), após estipular a importância de cada critério, deve-se normalizar a matriz de comparações para achar o peso das alternativas que estão sendo comparadas. Para isso devemos: 1) calcular a soma de cada coluna da matriz; 2) dividir cada fator de importância inserido na matriz pela soma da coluna à qual pertence, com o objetivo de achar seu valor relativo dentro da coluna; 3) calcular a média aritmética de cada linha da matriz normalizada.

Após calcular a média de cada linha da matriz, teremos o peso de cada critério. Este peso é na verdade a pontuação normalizada daquele critério. Estes pesos indicam a preferência relativa das alternativas para o tomador de decisão em relação a um critério específico.

3.4.1.5 Quinto passo: Calcular a relação de consistência

De acordo com Oliveira e Belderrain (2008), quando julgamos algo complexo e com muitas variáveis podemos errar e ser inconsistentes no julgamento. Se o tomador de decisão classificou o critério "A" como mais relevante que o critério "B", e classificou o critério "B" como sendo muito preferível ao "C", estará sendo inconsistente caso julgue o critério "A" indiferente em relação ao critério "C" (Ragsdale 2004).

O método exige que o tomador de decisão diga, ele mesmo, quanto "A" é mais importante que "C", permitindo que inconsistências apareçam e sejam detectadas durante o processo de julgamento. A redundância, apesar de deixar o processo mais trabalhoso, é positiva por ser um mecanismo de "autocontrole" do método.

É normal aparecer alguma inconsistência. O importante é que o tomador de decisão saiba mensurar a intensidade da inconsistência, e evitar que ela chegue perto do ponto de atrapalhar a avaliação e o processo de decisão. No método AHP, a relação de consistência precisa ser menor que 0,1 (10%) para ser aceitável (Saaty

1980). Relação de consistência acima de 10% indica que fomos incoerentes nas nossas avaliações.

Para calcular a relação de consistência devemos, para o primeiro critério, multiplicar cada peso da matriz normalizada pelos respectivos valores da tabela de comparação feita inicialmente. Os resultados dessas multiplicações devem ser somados e divididos pelo peso normalizado do primeiro critério. Essa será a medida de consistência do primeiro critério.

Devemos prosseguir com os cálculos para cada critério, mudando os valores dos pesos e julgamentos feitos inicialmente. No final, teremos a medida de consistência de cada critério.

Tendo essas medidas, devemos calcular o CI (*Consistency Index*) para finalmente calcular o CR (*Consistency Ratio*). Abaixo seguem os cálculos (IT):

- *Consistency Index* ou índice de consistência (CI) = $(\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$
- *Consistency Ratio* ou relação de consistência (CR) = CI / RI

Onde:

λ_{\max} = média das medidas de consistência calculadas inicialmente

n = número de alternativas comparadas

RI = *Random Index* (índice de correção correspondente, também chamado de índice de consistência aleatória).

Tabela 2 - Valores de RI para uso no cálculo da relação de consistência, primeira versão proposta por Saaty

N	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Fonte: OLIVEIRA e BELDERRAIN, 2008

Tabela 3 - Valores recalculados de RI, segunda versão proposta por Saaty

N	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,58

Fonte: OLIVEIRA e BELDERRAIN, 2008

As tabelas acima exibidas uma após a outra tem por objetivo alertar que algumas literaturas fazem referência à tabela 2, mas devemos usar os cálculos de RI mais recentes, mostrados na tabela 3. Esta nova tabela foi recalculada e proposta por Saaty em 1990 (SAATY, 2005).

3.4.1.6 Sexto passo: Aplicar os passos acima para todas as alternativas

De acordo com Oliveira e Belderrain (2008), os passos 2, 3, 4 e 5 devem ser repetidos para todas as alternativas em análise em relação aos subcritérios definidos. O conjunto de subcritérios também deve ser submetido aos passos 2, 3, 4 e 5 em relação aos critérios definidos. O mesmo deve ser feito para os critérios em relação à meta final.

Quando tivermos todas as planilhas de comparação par a par, devemos sumarizar os resultados, calculando a média ponderada de cada alternativa que está sendo analisada. A média ponderada é a soma dos produtos entre:

- o peso de cada alternativa para um determinado critério (também chamado de pontuação normalizada, calculada no terceiro passo);
- e o peso de cada critério em relação ao outro, calculado na comparação par a par entre os próprios critérios.

Quanto mais complexa for a estrutura hierárquica, maior será o número de matrizes. O uso de softwares especialmente desenvolvidos para análise multicritério é necessário em problemas complexos.

3.4.1.7 Resultado final

A melhor alternativa é a que apresenta a maior média ponderada.

3.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi abordado o embasamento teórico com a descrição de vários conceitos da engenharia da confiabilidade, como: conceitos sobre a análise de causa raiz, crescimento monitorado da confiabilidade e análise hierárquica de processos – AHP.

O conteúdo apresentado neste capítulo é de extrema relevância para o estudo de caso aplicado, haja vista que toda a fundamentação teórica será utilizada para o desenvolvimento das etapas seguintes.

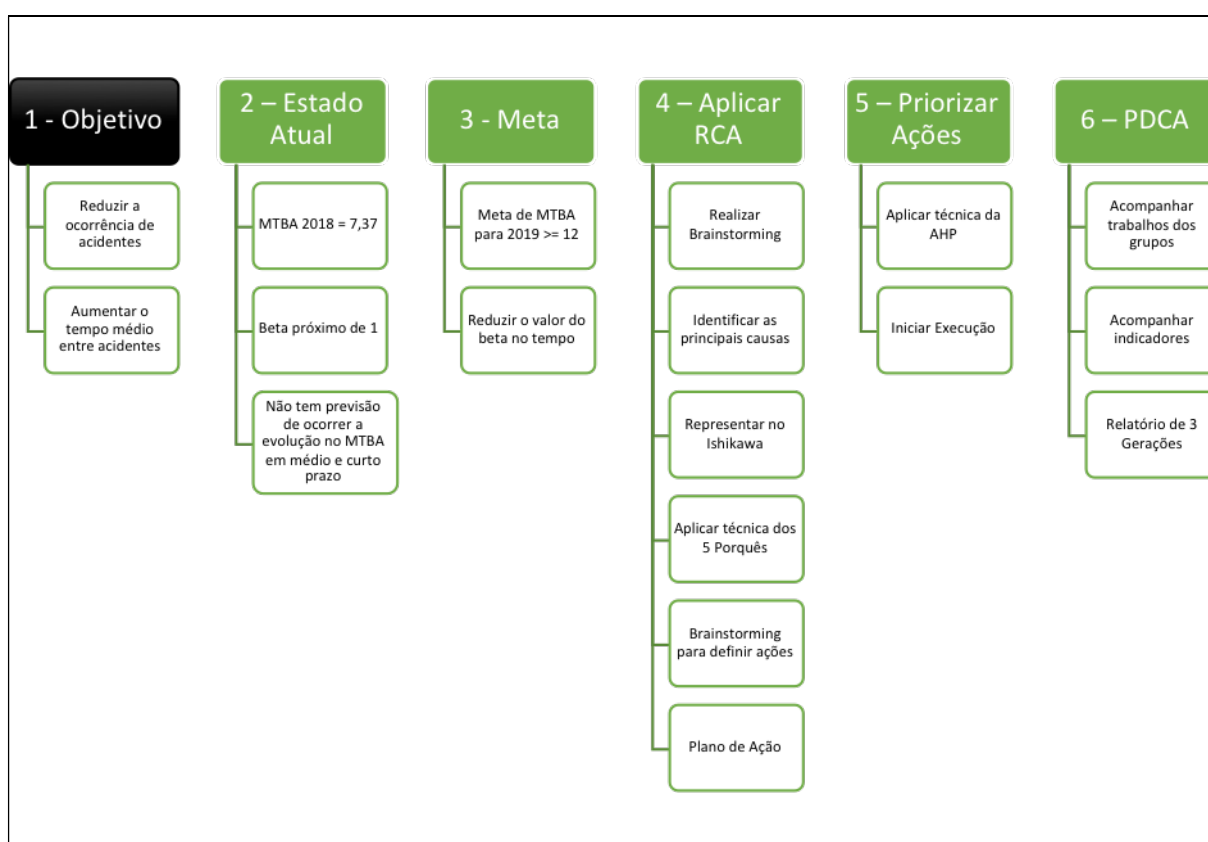
O próximo capítulo apresentará a utilização da análise de causa raiz - RCA para o estudo sobre ocorrências de acidentes do trabalho, com a proposição de ações para prevenir a sua ocorrência, além da utilização da AHP para priorização.

Para acompanhar a evolução do processo, sobre suas tendências, melhoras e pioras será utilizado o crescimento monitorado da confiabilidade.

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os resultados da aplicação da metodologia para a análise de causa raiz de acidentes do trabalho a partir da utilização de ferramentas da engenharia da confiabilidade e administração, com o propósito de identificar situações geradoras de ocorrências indesejadas, propor e priorizar ações mitigadoras, assim como acompanhar e prever a evolução do processo.

Figura 14 - Etapas da Metodologia



Fonte: Autor (2019)

Os trabalhos foram segmentados nas etapas representadas na figura 14, de forma sintetizada, e que serão descritas nos tópicos a seguir.

4.1 SITUAÇÃO PROBLEMA

Com o propósito de identificar as causas das principais situações geradoras de acidentes do trabalho ocorridas na organização em questão, o autor propôs à gerência da equipe da segurança do trabalho a execução do estudo sobre análise de causas raízes de acidentes do trabalho, que foi apresentado de forma sintetizada no capítulo 2.

Embora os indicadores e ações de segurança do trabalho da organização apresentem resultados positivos ao longo dos últimos anos, como a erradicação dos acidentes fatais e redução significativa dos acidentes com afastamentos superiores a 15 dias, cumpre evidenciar que para algumas situações geradoras de acidentes esta melhora ainda se apresenta de forma conservadora levando em consideração a frequência.

Diante disto e a partir da busca incessante por melhores resultados em saúde e segurança do trabalho, foi consensado pela equipe de segurança do trabalho a execução de estudo de análise de causa raiz das principais situações geradoras de acidentes do trabalho. Vale destacar que o agente “eletricidade” não se situa entre as principais situações geradoras de acidentes no trabalho quando levado em consideração o quesito frequência, no entanto, devido ao seu potencial de severidade, a situação geradora eletricidade foi considerada no estudo.

4.2 COLETA E PREPARAÇÃO DOS DADOS

Para a coleta e preparação de dados foi realizado o levantamento dos acidentes, quase acidentes e desvios ocorridos nos últimos três anos (2016 a 2018) a partir dos bancos de dados disponíveis na organização.

4.2.1 Principais Situações Geradoras

Segue as cinco situações geradoras de acidentes definidas pela área de segurança do trabalho da organização para a realização do estudo. Estas situações geradoras foram distribuídas para as equipes multidisciplinares, ao longo do estado do Paraná, para aplicação da análise de causa raiz das:

- 1) Batida
- 2) Eletricidade
- 3) Ser Vivo
- 4) Queda/Mau Jeito
- 5) Trânsito

4.2.1.1 Batida

Os dados coletados para o agente denominado batida referem-se as situações geradoras dos acidentes, cujas descrições de classificação, conforme ABNT NBR 14280 (2001), são:

- Impacto de pessoa contra (Objeto parado / Objeto em movimento), codificação 20.00.04.000 - Aplica-se a casos em que a lesão foi produzida por impacto da pessoa acidentada contra a fonte da lesão, tendo sido o movimento que produziu o contato originalmente o da pessoa e não o da fonte da lesão, exceto quando o movimento do acidentado tiver sido provocado por queda. Inclui casos de alguém chocar-se contra alguma coisa, tropeçar em alguma coisa, ser empurrado ou projetado contra alguma coisa. Não inclui casos de salto para nível inferior.
- Impacto sofrido por pessoa (De objeto que cai / De objeto em outras formas de movimento), codificação 20.00.08.000 - Aplica-se a casos em que a lesão foi produzida por impacto entre o acidentado e a fonte da lesão, tendo sido da fonte da lesão e não do acidentado o movimento que originou o contato.
- Aprisionamento em, sob ou entre (Objetos em movimento convergente, como calandra ou moenda, ou de encaixe / Um objeto parado e outro em movimento / Dois ou mais objetos em movimento, sem encaixe / Desabamento ou desmoronamento de edificação ou barreira / Aprisionamento em, sob ou entre, NIC), codificação 20.00.20.000 - Aplica-se a casos, sem impacto, em que a lesão foi produzida por compressão ou pinçamento entre um objeto em movimento e outro parado, entre dois

objetos em movimento ou entre partes de um mesmo objeto. Não se aplica quando a fonte da lesão for um objeto livremente projetado ou em queda livre.

- Atrito, abrasão, perfuração, corte (Por encostar, pisar, ajoelhar ou sentar em objeto (sem vibração) / Por manusear objeto (sem vibração) / Por objeto em vibração / Por corpo estranho no olho / Por compressão, perfuração, corte / Atrito, abrasão, perfuração, corte, NIC), codificação 20.00.24.000 - Aplica-se a casos, sem impacto, em que a lesão foi produzida por compressão, vibração ou atrito entre o acidentado e a fonte da lesão.

Para facilitar o estudo, as situações geradoras supracitadas foram agrupadas e denominados de acidente do tipo Batida.

4.2.1.2 Eletricidade

Os dados coletados para o agente denominado eletricidade referem-se as situações geradoras dos acidentes, cujas descrições de classificação, conforme ABNT NBR 14280 (2001), são:

- Exposição à energia elétrica (Baixa tensão / Alta tensão / Exposição à energia elétrica, NIC), codificação 20.00.36.000.

4.2.1.3 Ser Vivo

Os dados coletados para o agente denominado ser vivo referem-se as situações geradoras dos acidentes, cujas descrições de classificação, conforme ABNT NBR 14280 (2001), são:

- Ação de ser vivo (animais, inclusive o homem e vegetais), codificação 20.00.80.000 - Ação de ser vivo (animais, inclusive o homem e vegetais): Por mordedura, picada, chifrada, coice, não se aplicando no caso de haver peçonha ou transmissão de doença; Por contato; Por agressão

humana; Com peçonha; Com transmissão de doença; Ação de ser vivo, NIC.

Para facilitar o estudo, as situações geradoras supracitadas foram agrupadas e denominados de acidente do tipo Ser Vivo.

4.2.1.4 Queda/Mau Jeito

Os dados coletados para o agente denominado queda/mau jeito referem-se as situações geradoras dos acidentes, cujas descrições de classificação, conforme ABNT NBR 14280 (2001), são:

- Queda de pessoa com diferença de nível, codificação 20.00.12.000 - Aplica-se a casos em que a lesão foi produzida por impacto entre o acidentado e a fonte da lesão, tendo sido do acidentado o movimento que produziu o contato, nas seguintes circunstâncias: 1) o movimento do acidentado foi devido à ação da gravidade, 2) o ponto de contato com a fonte da lesão estava abaixo da superfície que suportava o acidentado no início da queda. Inclui salto para nível inferior.
- Queda de pessoa em mesmo nível, codificação 20.00.16.000 - Aplica-se a casos em que a lesão foi produzida por impacto entre o acidentado e um objeto, tendo sido do acidentado o movimento que produziu o contato, nas seguintes circunstâncias: 1) o movimento do acidentado foi devido à ação da gravidade com perda de equilíbrio e impossibilidade de manter-se de pé, 2) o ponto de contato com a fonte da lesão estava, no momento do início da queda, ao nível ou acima da superfície que suportava o acidentado.
- Reação do corpo a seus movimentos, codificação 20.00.28.000 - Aplica-se a casos, sem impacto, em que a lesão foi produzida exclusivamente por movimento livre do corpo humano. Geralmente, aplica-se à ocorrência de torções, distensões, rupturas ou outras lesões internas, resultantes da adoção de posição forçada ou de movimentos involuntários provocados

A figura 15 representa a segmentação dos grupos ao longo do estado do Paraná.

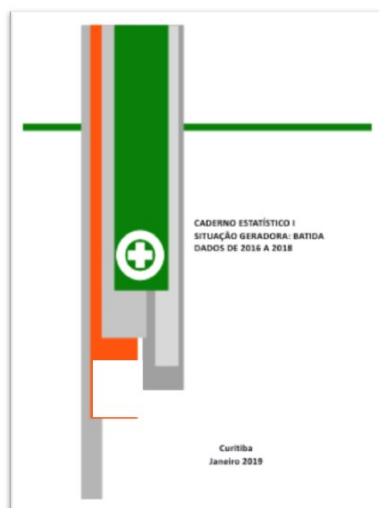
4.3.1 Caderno Estatístico

Para cada situação geradora de acidente foi preparado pelo autor um caderno estatístico com as informações elencadas abaixo com o objetivo de ser a fonte inicial de dados para permitir o estudo das problemáticas pelas comissões de estudo:

- Acidentes por Ano
- Acidentes por Mês
- Acidentes por Dia da Semana
- Acidentes com Afastamento
- Acidentes sem Afastamento – Próprios X Contratados
- Acidentes com Afastamento – Próprios X Contratados
- Períodos de Afastamentos – Próprios X Contratados
- Histograma Contagem Períodos de Afastamento, em dias
- Parcela do TF do Agente em relação ao TF da DIS
- Gravidade dos Acidentes – Força de Trabalho
- Acidentes Graves – Próprios X Contratados
- Acidentes Leves – Próprios X Contratados
- Funções/Equipes envolvidas - Próprios X Contratados - 2016 a 2018
- Fontes de Lesão – 2016 a 2018 – Força de Trabalho
- Parte do Corpo Atingida – 2016 a 2018
- Histograma Idade – Próprios
- Acidentes por Região – 2016 a 2018
- Acidentes por Superintendência – 2016 a 2018
- Acidentes por Departamento – 2016 a 2018
- Tempo Médio entre Acidentes, em dias
- Valor do beta - crescimento da confiabilidade
- Tendência do MTBA – 2016 a 2018

- MTBA 2016
- MTBA 2017
- MTBA 2018

Figura 16 - Caderno Estatístico - Capa



Fonte: Autor (2019)

A figura 16 representa a capa do caderno estatístico que foi elaborado como fonte inicial de estudos da comissão responsável por realizar a análise de causa raiz da situação gerado Queda.

Figura 17 - Caderno Estatístico - Sumário e Lista de Figuras

Sumário		Lista de Figuras	
1	OBJETIVO..... 4	3	Acidentes por Atos - Agência Quarta..... 4
2	DADOS EXISTENTES..... 4	7	Acidentes por Atos - Agência Quarta..... 5
2.1	Acidentes por Período, Caracterização e Gravidade..... 5	8	Acidentes por Ous da Servidora - Agência Quarta..... 5
2.2	Acidentes por Função e Parte do Corpo Atendida..... 11	6	Acidentes que Impactaram o Indicado Atividade - Proteção e Controladora..... 6
2.3	Acidentes por Região e Organograma..... 13	7	Acidentes que Impactaram o Indicado Atividade - Proteção e Controladora..... 7
3	DESCRIÇÃO QUANTO A ACIDENTES..... 14	8	Parâmetros de Atendimento - Proteção e Controladora..... 8
4	INDICADORES..... 15	9	Indicadores de Contagem Periódica de Atendimento, em dia..... 9
4.1	Tempo Médio entre Acidentes (MTBA) com Queda nos anos de 2016 a 2018..... 15	10	Parâmetros de TT de Agência Quarta em relação ao TT de QED..... 9
4.2	Métri para o Agente Quarta..... 18	11	Gravidade dos Acidentes - Força de Trabalho..... 9
5	OCCUPAÇÃO REQUERIDA DOS ACIDENTES..... 18	12	Acidentes Casos - Proteção e Controladora..... 10
6	REGULADORES ESPERADOS..... 18	13	Acidentes Levam - Proteção e Controladora..... 10
7	ELABORAÇÃO..... 18	14	Características dos Acidentes - Agência Quarta - Proteção e Controladora - 2016 a 2018..... 10
		15	Fórmula de Levado - Agência Quarta - 2016 a 2018 - Força de Trabalho..... 11
		16	Parâmetros de Levado - Agência Quarta - 2016 a 2018..... 11
		17	Parâmetros de Levado - Proteção..... 12
		18	Acidentes por Região - 2016 a 2018..... 12
		19	Acidentes por Departamento - 2016 a 2018..... 12
		20	Tempo Médio entre Acidentes, em dia - Agência Quarta..... 13
		21	Valor do Índice - Características dos Acidentes..... 13
		22	Tendência do MTBA - 2016 a 2018..... 13
		23	MTBA 2016..... 13
		24	MTBA 2017..... 13
		25	MTBA 2018..... 13

Fonte: Autor (2019)

A figura 17 representa o sumário e a lista de figuras do caderno estatístico que foi elaborado como fonte inicial de estudos da comissão responsável por realizar a análise de causa raiz da situação gerado Queda.

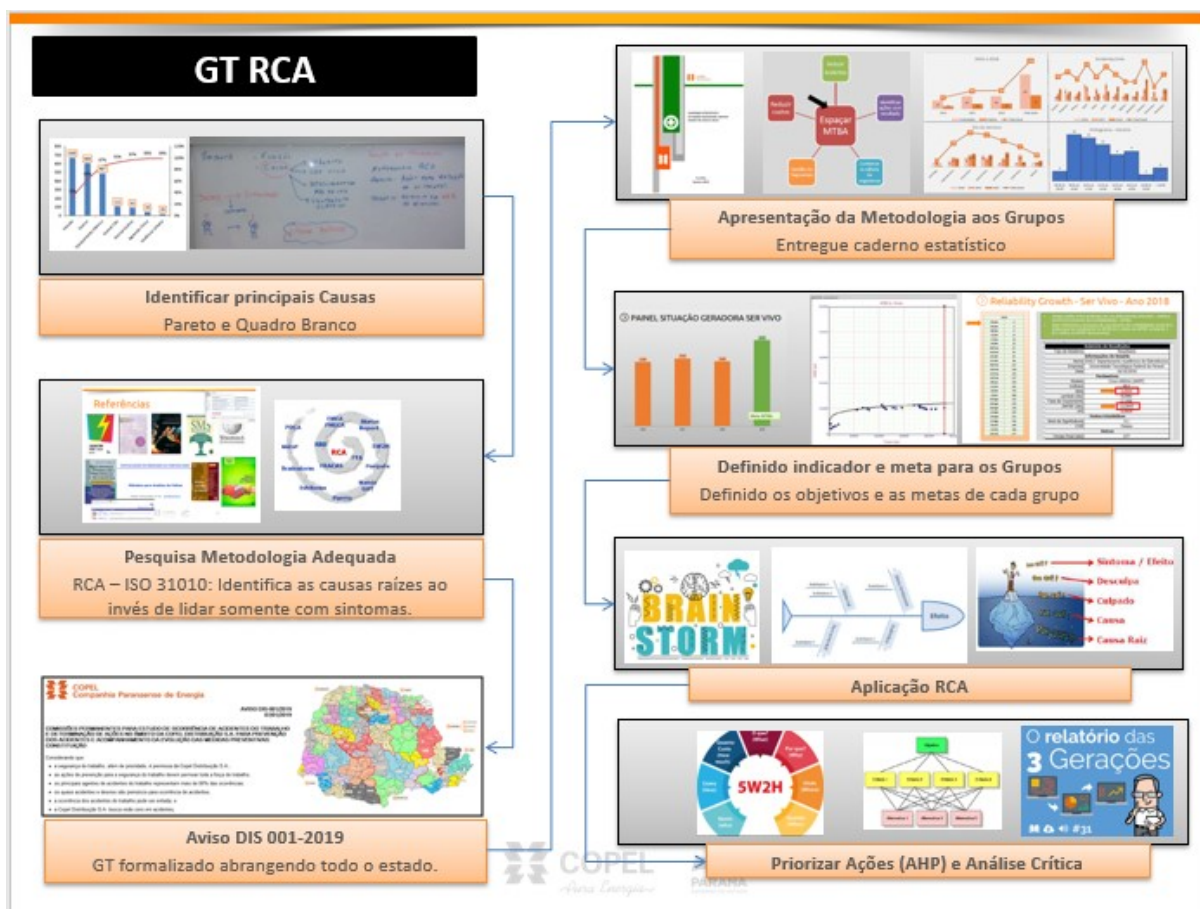
4.3.2 Apresentação da Metodologia

Após a definição das principais situações geradoras de acidentes, a elaboração dos cadernos estatísticos, a definição dos empregados que iriam constituir as comissões de estudo e a formalização das comissões através de comunicado oficial da empresa, foi realizado uma reunião por vídeo conferência com as comissões distribuídas pelo estado do Paraná para a apresentação, pelo autor, da metodologia a ser cumpridas pelas equipes.

Durante a reunião foi preparada a apresentação com os tópicos demonstrados abaixo:

- Referências bibliográficas utilizadas para definição da metodologia
- Etapas da Metodologia de Análise de Causa Raízes (RCA)
- Explicação sobre a métrica a ser utilizada para acompanhar o processo de Crescimento Monitorado da Confiabilidade
- Orientações para o controle e registro dos arquivos gerados pelas comissões
- Explicação sobre a aplicação do Diagrama de Ishikawa
- Explicação sobre a aplicação das técnicas dos 5 Porquês
- Explicação das técnicas para aplicação do Brainstorming
- Explicação sobre a técnica da Análise Hierárquica de Processos para priorizar as ações propostas]
- Apresentação dos Cadernos Estatísticos elaborados para permitir o estudo das comissões.

Figura 18 - Etapas para o RCA



Fonte: Autor (2019)

A figura 18 demonstra de forma sintetizada as etapas que definiram a execução dos trabalhos para o estudo sobre a ocorrência de acidentes do trabalho.

4.3.2.1 Crescimento Monitorado da Confiabilidade

Para demonstrar para as comissões a necessidade de se estudar as causas raízes dos acidentes do trabalho e avaliar a evolução das melhorias foram apresentados os dados abaixo.

As métricas foram elaboradas a partir da utilização da ferramenta do software RGA da ReliaSoft.

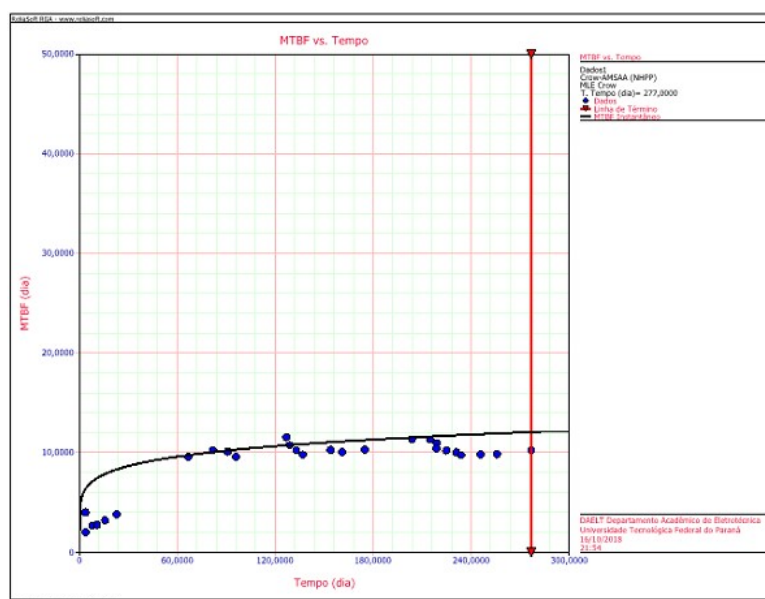
Figura 19 - Métricas do Crescimento Monitorado da Confiabilidade

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	Resultados
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	16/10/2018
Parâmetros	
Modelo	Crow-AMSAA (NHPP)
Análises	MLE
Beta	0,8504
Lambda (dia)	0,2261
Taxa de Crescimento	0,1496
DMTBF (dia)	12,0645
DFI	0,0829
Testes Estatísticos	
Nível de Significância	0,1
CVM	Passou
Outras	
Tempo Final (dia)	277

Fonte: Autor (2019)

A figura 19 apresenta a análise dos dados relativos aos acidentes cuja situação geradora é o agente Ser Vivo, com relação ao ano de 2018. Percebe-se que, a partir do valor beta calculado, é verificado a presença de crescimento da confiabilidade e um tempo médio entre acidentes crescente.

Gráfico 4 - Curva de Crescimento Monitorado da Confiabilidade

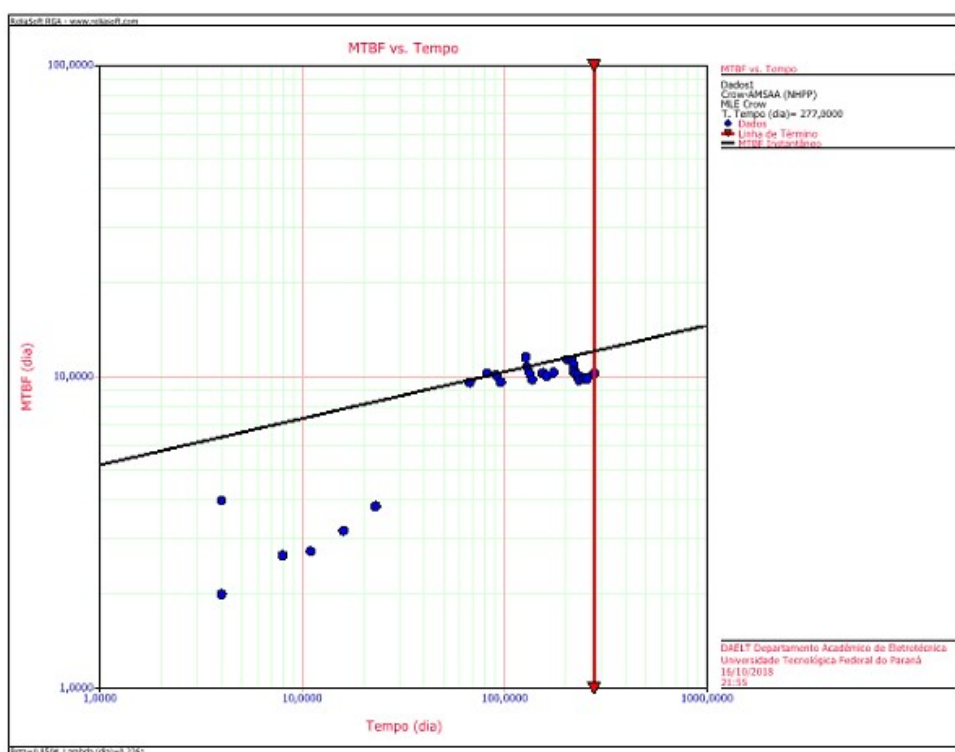


Fonte: Autor (2019)

O gráfico 4 apresenta o gráfico do tempo médio entre acidentes instantâneo versus o tempo. A partir da análise do gráfico, percebe-se que ocorre a aumento do MTBA (tempo médio entre acidentes) no tempo, o que indica uma melhora no processo e que os acidentes tendem a reduzir no tempo.

Cumpra evidenciar ainda que neste caso o beta é menor que um, que significa que o MTBA do sistema está aumentando com o tempo e o MTBA cumulativo é menor que o MTBA instantâneo.

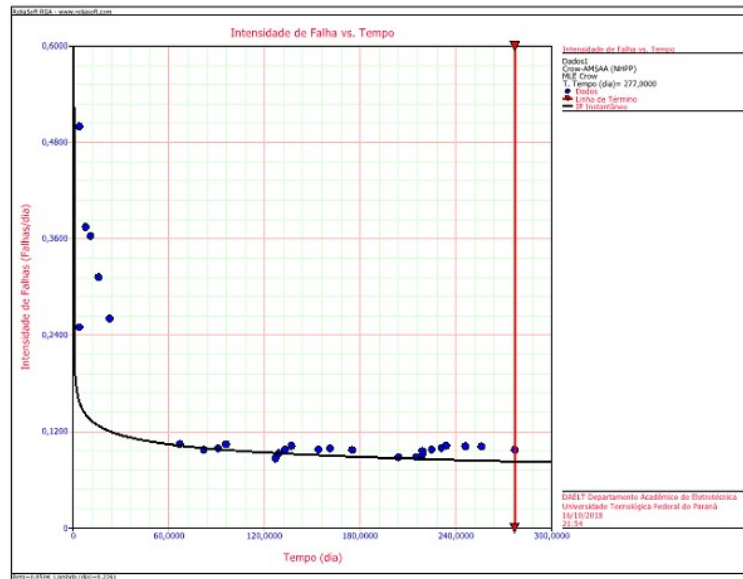
Gráfico 5 - Gráfico Linear Curva de Crescimento Monitorado da Confiabilidade



Fonte: Autor (2019)

A partir do gráfico 6 é possível avaliar que a intensidade de falha está diminuindo com o tempo.

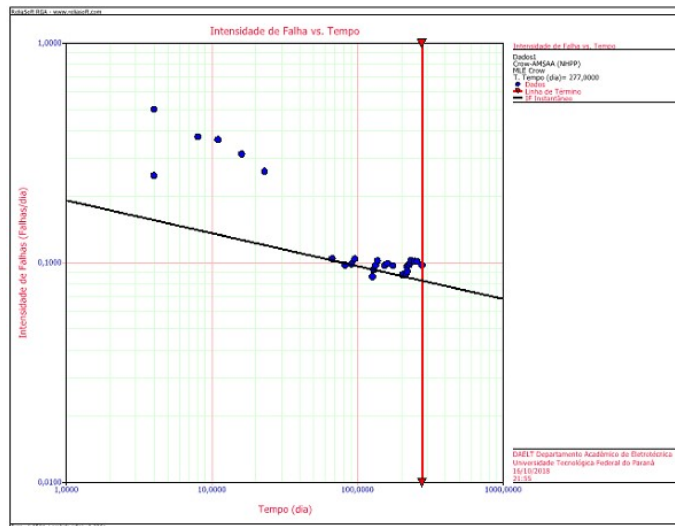
Gráfico 6 - Intensidade de Falha versus o Tempo



Fonte: Autor (2019)

O gráfico 7, representado de forma linear, também demonstra que a intensidade de falha tende a diminuir no tempo.

Gráfico 7 - Gráfico Linear Intensidade de Falha versus o Tempo



Fonte: Autor (2019)

A partir da figura 20 é possível entender que a evolução do MTBA no tempo encontrava-se de maneira conservadora, pois ao estipular o tempo para alcance de um MTBA igual a 60, o mesmo tendeu ao infinito.

Figura 20 - Meta para o MTBA igual a 60

Análise 1 \ Dados 1

Limite Superior (0,95) 4,7070E+08 dia

t(IMTBF=6... 1,2533E+07 dia

Limite Inferior (0,05) 1,0621E+06 dia

Prazo Concedido: InstMTBF dia Bilateral-2S Legenda Ligada

QUICK CALCULATION PAD Unidades Limites Opções

Calcular

Cumulativo MTBF Intensidade de Falhas

Instantâneo MTBF Intensidade de Falhas

Tempo (dia) Prazo Concedido: MTBF Instantâneo

Falhas Número de Falhas

Limites Limites dos Parâmetros

Entrada

MTBF Instantâneo 60

Nível de Confiança 0,9

Calcular Relatório Fechar

Fonte: Autor (2019)

Portanto, as comissões se sensibilizaram da importância de se realizar o estudo sobre as ocorrências de acidentes e a proposições de ações mitigadoras, com o objetivo de melhorar o beta e, por conseguinte, reduzir de forma mais otimista o espaçamento entre os acidentes.

Na sequência, será apresentado os resultados dos trabalhos realizados pela comissão responsável pela situação geradora trânsito. Os demais resultados não serão apresentados para preservar informações da empresa que permitiu a realização do estudo apresentado.

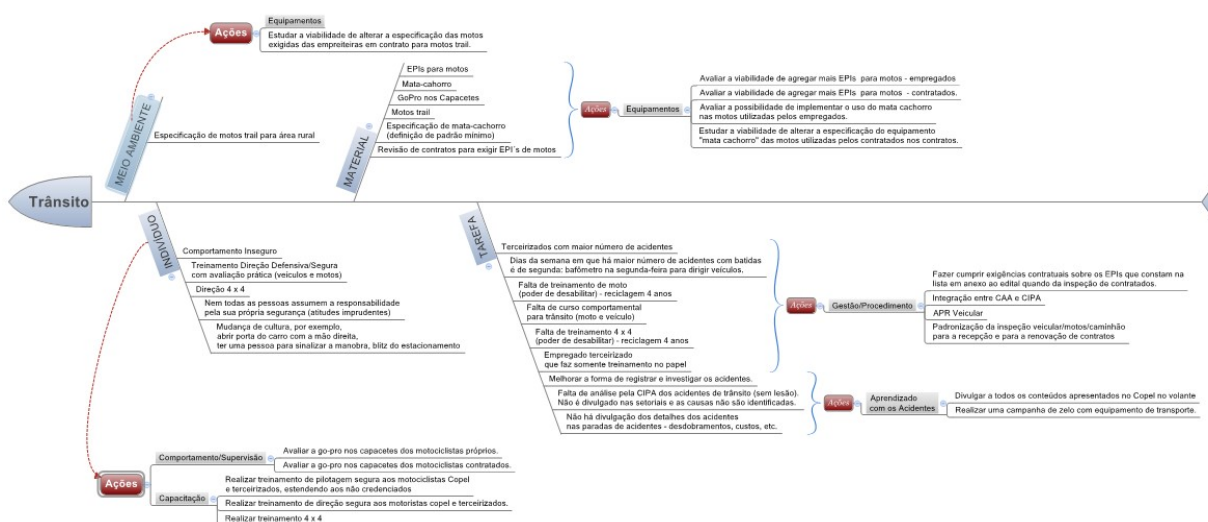
4.4 SITUAÇÃO GERADORA TRÂNSITO

Neste tópico serão apresentados os resultados referentes ao estudo aplicado para a situação geradora trânsito.

4.4.1 Síntese do GT Trânsito

Segue abaixo a representação do diagrama de Ishikawa gerado pela comissão de estudo da situação geradora trânsito, compilando os dados oriundos das reuniões de brainstorming, da aplicação das técnicas dos 5 Porquês e da proposição de ações mitigadoras. Os resultados também estão disponíveis no apêndice do trabalho.

Figura 21 - Síntese Trânsito



Fonte: Autor (2019)

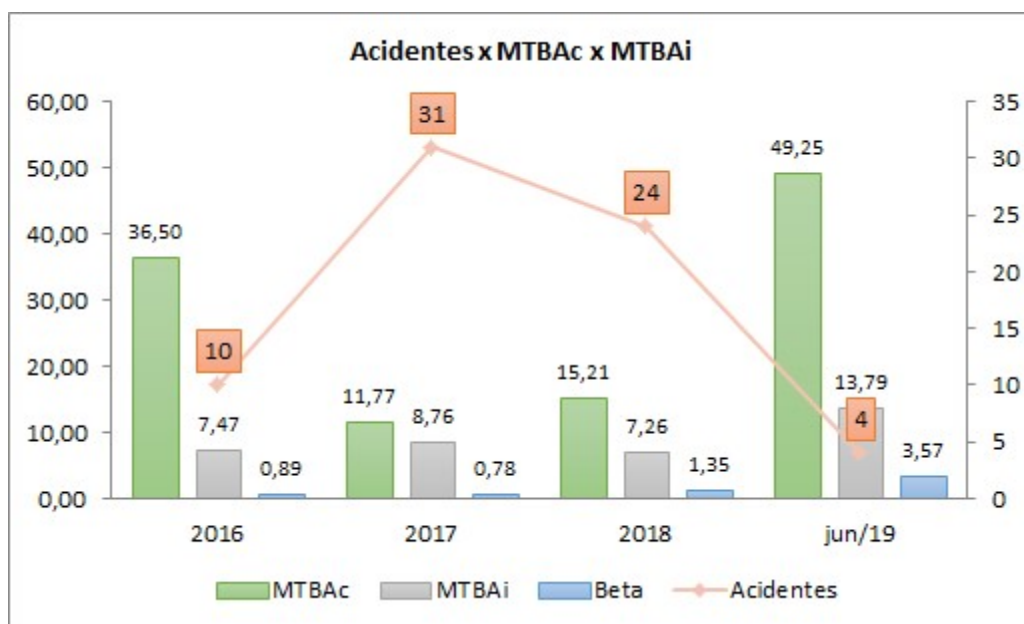
A síntese representa a estruturação das reuniões de *brainstorming* com o as causas básicas das situações geradoras de acidentes e com a respectiva causa raiz destacadas na cor cinza através da aplicação da técnica dos 5 porquês.

Foi representado também na síntese as propostas de ações mitigadoras.

4.4.2 Crescimento Monitorado da Confiabilidade

Os indicadores do crescimento monitorado da confiabilidade, no período de 2016 a junho de 2019, estão representados através do gráfico abaixo:

Gráfico 8 - Dados Situação Geradora Trânsito



Fonte: Autor (2019)

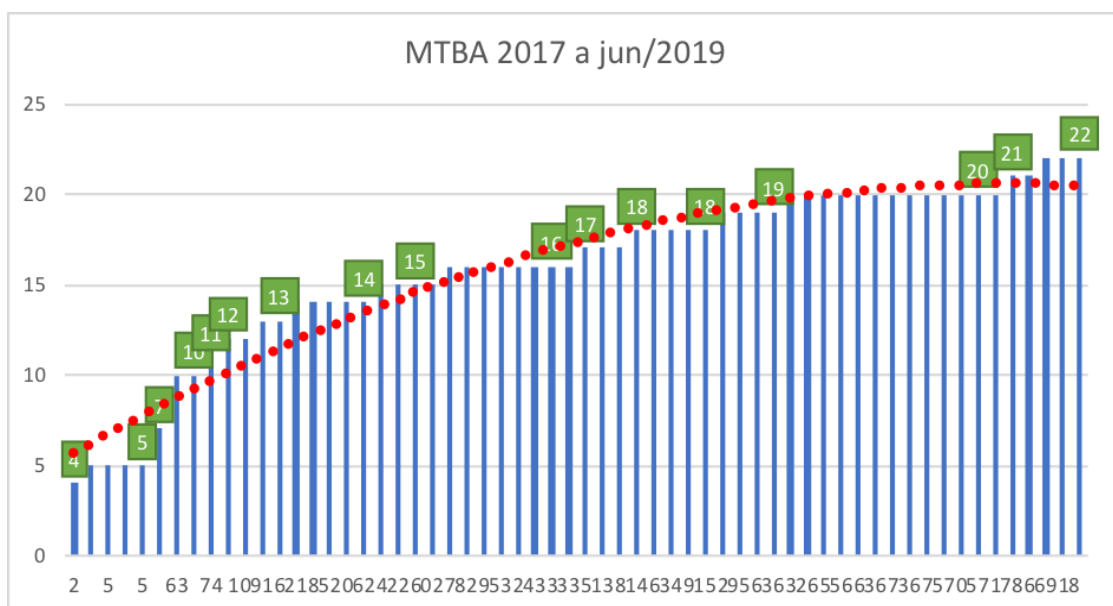
O gráfico 8 demonstra que a quantidade de acidentes envolvendo o trânsito vem reduzindo no tempo, com uma possibilidade de atingir o seu melhor resultado dos últimos quatro anos. Isto pode ser verificado através do tempo médio acumulado (49,25) do ano de 2019.

Já o beta alto (3,57) em junho de 2019 representa dois acidentes ocorridos sequencialmente no mês de junho de 2019, gerando uma alerta para a organização haja vista que estes acidentes aconteceram num curto intervalo de tempo.

As métricas do crescimento monitorado da confiabilidade permitem que os gestores tenham capacidade de verificar as tendências, melhoras e pioras do processo.

O gráfico 9 apresenta a melhoria no espaçamento entre os acidentes, no período compreendido entre 2017 a junho de 2019.

Gráfico 9 - MTBA 2017 a junho/2019



Fonte: Autor (2019)

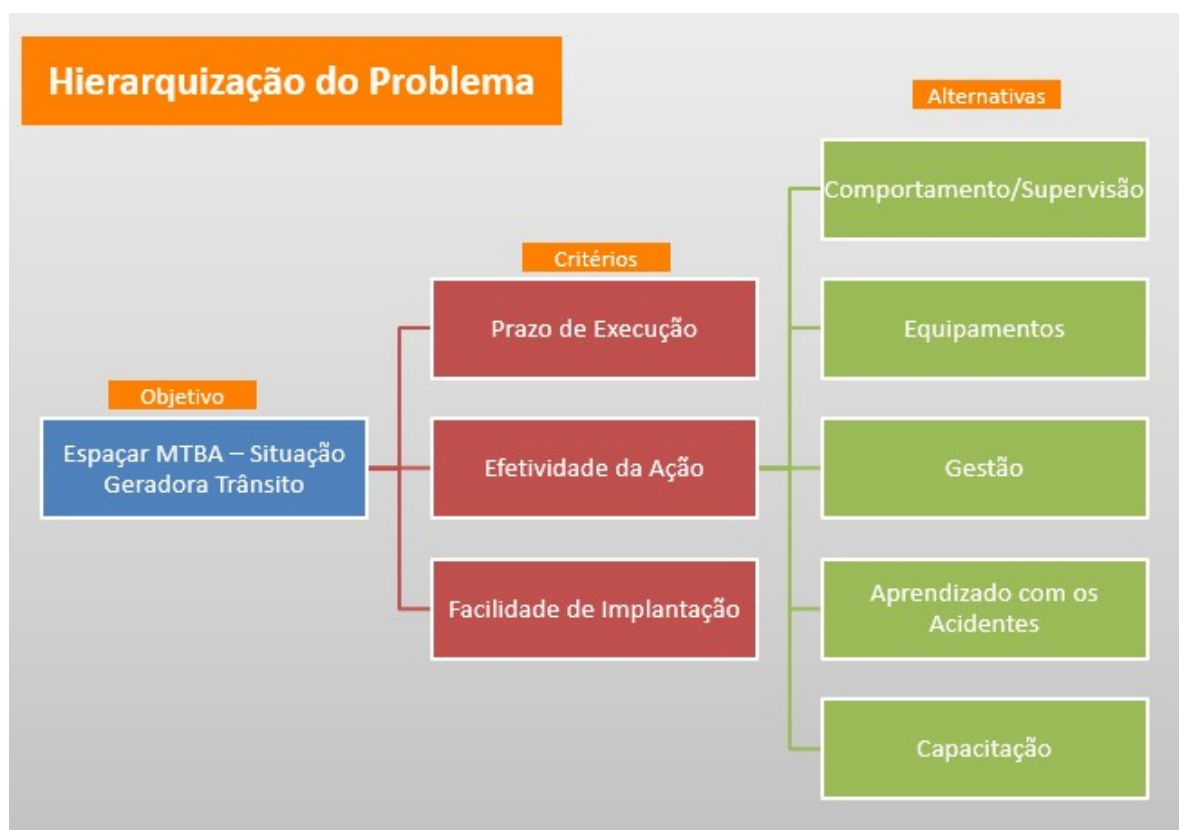
Os cálculos referente ao crescimento monitorado da confiabilidade também foram realizados na ferramenta da google *Reliability Analytics Toolkit*, especificamente no módulo *Reliability growth tracking*, disponível em <https://reliabilityanalyticstoolkit.appspot.com/>, e foram disponibilizados na apêndice desta monografia.

4.4.2.1 Resultados da AHP

Cumprir evidenciar que as ações propostas pelo grupo que estudou a situação gerado trânsito se norteiam nas causas raízes identificadas durante o estudo e elencadas a seguir:

- Comportamento
- Gestão
- Equipamentos
- Aprendizado com os Acidentes
- Capacitação

Figura 22 - Hierarquização do Problema



Fonte: Autor (2019)

Os resultados da aplicação da AHP para comissão de estudo trânsito, levando em consideração os critérios prazo de execução, facilidade de implementação e efetividade com relação as alternativas apresentadas a seguir que foram as causas raízes definidas durante a aplicação da análise de causa raiz.

4.4.2.2 Resultados dos Julgamentos

Segue, na tabela 4, os resultados da avaliação dos critérios após coleta de julgamentos par a par da equipe que avaliou o grau de “importância” entre os critérios e alternativas, conforme escala de 1 a 9 proposta por Saaty.

Tabela 4 - Avaliação dos Critérios

Critérios	Prazo de Execução	Facilidade de Implementação	Efetividade da Ação	Auto Vetor	A. V. N.
Prazo de Execução	1	1	1/9	0,4807	15,81%
Facilidade de Implementação	1	1	1/9	0,4807	15,81%
Efetividade da Ação	1	9	1	2,0800	68,39%
	3,00	11,00	1,22	3,04	100,00%

Fonte: Autor (2019)

Para a tabela 4 a relação de consistência calculada foi de 4,20%, indicando relação abaixo de 10% e conseqüentemente que os julgamentos foram coerentes.

A partir do julgamento da comissão de análise da situação geradora trânsito foi possível identificar que o critério efetividade da ação teve um peso atribuído bem superior aos demais. Isto se explica a partir do ponto de vista do grupo, no qual entenderam que como o objetivo das ações implica situações de segurança, as ações de maior efetividade se sobressaem em relação aquelas com prazo menor e com maior facilidade de execução.

Tabela 5 - Prazo de Execução

Prazo de Execução	Comportamento	Gestão	Equipamentos	Aprendizado com os Acidentes	Capacitação	Auto Vetor	A. V. N.
Comportamento	1	1/3	1/4	1/7	3	0,513	6,81%
Gestão	3	1	1/3	1/5	5	1	13,26%
Equipamentos	4	3	1	1/3	5	1,820	24,14%
Aprendizado com os Acidentes	7	5	3	1	9	3,936	52,19%
Capacitação	1/3	1/5	1/5	1/9	1	0,271	3,60%
	15,33	9,53	4,78	1,79	23,00	7,54	100,00%

Fonte: Autor (2019)

Para a tabela 5 a relação de consistência calculada foi de 5,00%, indicando relação abaixo de 10% e conseqüentemente que os julgamentos foram coerentes.

Tabela 6 - Facilidade de Implementação

Facilidade de Implantação	Comportamento	Gestão	Equipamentos	Aprendizado com os Acidentes	Capacitação	Auto Vetor	A. V. N.
Comportamento	1	1/5	1/5	1/7	1/3	0,285	4,03%
Gestão	5	1	1	1/5	3	1,245	17,59%
Equipamentos	5	1	1	1/2	4	1,584	22,38%
Aprendizado com os Acidentes	7	5	2	1	7	3,451	48,74%
Capacitação	3	1/3	1/4	1/7	1	0,513	7,25%
	21,00	7,53	4,45	1,99	15,33	7,08	100,00%

Fonte: Autor (2019)

Para a tabela 6 a relação de consistência calculada foi de 5,54%, indicando relação abaixo de 10% e conseqüentemente que os julgamentos foram coerentes.

Tabela 7 - Efetividade da Ação

Efetividade da Ação	Comportamento	Gestão	Equipamentos	Aprendizado com os Acidentes	Capacitação	Auto Vetor	A. V. N.
Comportamento	1	7	5	9	2	3,6297	49,00%
Gestão	1/7	1	1/3	5	1/4	0,5688	7,68%
Equipamentos	1/5	3	1	5	1/2	1,0845	14,64%
Aprendizado com os Acidentes	1/9	1/5	1/5	1	1/6	0,2366	3,19%
Capacitação	1/2	4	2	6	1	1,8882	25,49%
	1,95	15,20	8,53	26,00	3,92	7,41	100,00%

Fonte: Autor (2019)

Para a tabela 7 a relação de consistência calculada foi de 4,52%, indicando relação abaixo de 10% e conseqüentemente que os julgamentos foram coerentes.

Tabela 8 - Priorização Final

Priorização	Prazo de Execução	Facilidade de Implantação	Efetividade da Ação	Vetor de Decisão
Vetor dos Critérios	15,81%	15,81%	68,39%	-
Comportamento	6,81%	4,03%	49,00%	35%
Gestão	13,26%	17,59%	7,68%	10%
Equipamentos	24,14%	22,38%	14,64%	17%
Aprendizado com os Acidentes	52,19%	48,74%	3,19%	18%
Capacitação	3,60%	7,25%	25,49%	19%

Fonte: Autor (2019)

A partir do resultado dos julgamentos, as ações voltadas para o comportamento ficaram em 1º lugar, em função do critério Efetividade da Ação.

4.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado a aplicação do estudo de ocorrências de acidentes do trabalho a partir da análise de causa raiz, com a disponibilização dos resultados da comissão responsável pela situação geradora trânsito.

O conteúdo apresentado neste capítulo é de extrema relevância para o estudo de caso em questão, haja vista que toda a aplicação da fundamentação teórica foi disponibilizada e apresentada.

O próximo capítulo apresentará as considerações finais sobre os resultados alcançados com o estudo do caso aplicado e as respectivas sugestões para trabalhos futuros e as recomendações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos objetivos gerais e específicos descritos no capítulo 1, o estudo de análise de causa raiz tinha como propósito aplicar as ferramentas da engenharia da confiabilidade, qualitativa e quantitativa, a partir de uma metodologia aplicada, para estudo sobre as ocorrências de acidentes do trabalho, com a identificação das principais situações geradoras de acidentes e a proposição de ações para sua mitigação. O objeto do estudo aplicado também tinha como finalidade a definição de indicador apropriado para acompanhar a eficácia e o desempenho do dispêndio de energia e recursos implementados para a prevenção de ocorrências indesejáveis, além de utilizar técnica de administração para priorizar as ações a serem implementadas.

A partir do estudo realizado e concluído no mês de julho de 2019, foi possível alcançar os seguintes resultados:

- Execução de diagnóstico de segurança do trabalho sobre as causas das principais situações geradoras de acidentes do trabalho;
- Identificação das principais situações geradoras de acidentes e quase acidentes que ocorrem com maior frequência na organização;
- Identificação das principais situações geradoras de acidentes e quase acidentes com maior potencial de severidade;
- Criação e formalização de comissão para realizar o estudo sistêmico de ocorrência de acidentes do trabalho, determinação de ações no âmbito da concessionária de energia elétrica para a prevenção dos acidentes e acompanhamento da evolução das medidas preventivas;
- Aplicação e definição de metodologia estruturada para a execução de análise de causa raiz (RCA) dos acidentes do trabalho, a partir da utilização das ferramentas da qualidade e de gerenciamento de risco;
- Elaboração de caderno estatístico sobre os acidentes e quase acidentes;
- Aplicação da engenharia da confiabilidade, sobretudo do crescimento monitorado da confiabilidade com o propósito de prever as tendências, melhorias e pioras dos processos;
- Proposição de ações de mitigação e prevenção para a ocorrência de acidentes do trabalho;

- Validação e definição de prioridade para as ações propostas.

Cumpre evidenciar que mesmo pelas dificuldades inerentes ao trabalho proposto, como exemplo o envolvimento de equipes distribuídas por todo o estado do Paraná, o mesmo ocorreu dentro do tempo planejado e com o alcance de resultados acima da expectativa. Isto, com certeza, se deve ao comprometimento e empenho das comissões de análise, demonstrando que a força de trabalho compreende e aplica os valores da companhia.

Ou seja, desde a apresentação e aprovação da proposta de trabalho pelo staff da segurança do trabalho e a execução da metodologia proposta pelas comissões de análise, fica demonstrado o valor da segurança do trabalho para a companhia.

A partir do estudo aplicado, foi possível executar um diagnóstico sistêmico das causas das principais situações geradoras de acidentes do trabalho ocorridos na companhia com a proposição e hierarquização de ações para a sua mitigação e prevenção.

Vale ressaltar ainda que algumas das ações propostas já foram aplicadas e outras já se encontram em andamento. Os integrantes das comissões e a equipe de segurança já aproveitaram a execução do estudo para a aplicação das propostas durante a realização de campanhas.

Os resultados dos estudos sobre as ocorrências de acidentes do trabalho, sobretudo os diagnósticos resultantes das situações geradoras de acidentes e as respectivas propostas de ações preventivas ficarão disponíveis para utilização no âmbito da companhia, inclusive para as CIPAs.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar o estudo e a metodologia aplicada para os acidentes envolvendo energia elétrica com a comunidade e para os acidentes de trânsito com danos materiais.

Estudar e aplicar outras técnicas de análise e investigação de acidentes.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Deve-se continuar avaliando o crescimento monitorado da confiabilidade acerca da frequência da ocorrência das situações geradoras de acidentes estudadas em função do início da execução das ações propostas com a finalidade de avaliar a sua eficácia e identificar as propostas que obtiveram resultados positivos.

O relatório de três gerações deve ser preenchido semestralmente para realizar o giro do PDCA dos trabalhos desenvolvidos e avaliar a eficiência das ações realizadas a partir das métricas do crescimento monitorado da confiabilidade.

Para o ano de 2020, reaplicar novamente o estudo, contudo deve-se realizar o rodízio das as situações geradoras de acidentes entre os polos.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14280. Cadastro de acidente do trabalho: procedimento e classificação. Rio de Janeiro, 2001.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **Guia de análise acidentes de trabalho.** Brasília, 2010. Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/manuais>

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. **NR-05 Comissão Interna de Prevenção de Acidentes – CIPA).** Disponível em: <http://www.mte.gov.br>. Acesso em: 17 de dez de 2018.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. Secretaria de Inspeção do Trabalho. **Estratégia Nacional para a Redução dos Acidentes de Trabalho 2015-2016.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego; 2015.

DIAS, Acires; CALIL, Luís Fernando Peres; Rigoni, EMERSON; OGLIARI, André; SAKURADA, Eduardo Yuji; KAGUEIAMA, Heitor Azuma. **Metodologia para análise de risco: Mitigação de perda de sf6 em disjuntores.** Florianópolis, 2013.

DIAS, Acires. **Projeto para Confiabilidade: Conceitos e Fundamentos.** Livro: Gestão do Ciclo de Vida dos produtos. Coleção Fábrica do Milênio. Volume III. São Carlos, SP. Editora: Cubo Multimídia. Cap 16, p229-244. 2005.

DOWNING, M. W. **Root-Cause Failure Analysis: Maintenance and Reliability Best Practice.** Plant Engineering. Dupont, 2004.

GIL, Antônio C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4ª. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

Lei nº. 8.213. Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências. Ministério da Previdência Social, Brasília, DF. 24 de julho de 1991. DOU de 14/08/98.

LUNA, Sérgio V. **Planejamento de Pesquisa: uma introdução.** 1ª. ed. São Paulo: EDUC, 1997.

OLIVEIRA, Cleber Almeida de; BELDERRAIN, Mischel Carmen N. **Considerações sobre a obtenção de vetores de prioridades no AHP.** I ERABIO – XXI ENDIO – XIX EPIO. Posadas, Misiones, Argentina 21 a 23 de Mayo de 2008.

OLIVEIRA, Sebastião Geraldo de. **Indenizações por acidente de trabalho ou doença ocupacional.** 7º ed. São Paulo: LTr; 2013.

PALLEROSI, Carlos Amadeu; MAZZOLINI, Beatriz Pinheiro Machado; MAZZOLINI, Luiz Ricardo. Livro: **Confiabilidade Humana: conceitos, análises, avaliação e desafios**. São Paulo, SP. All Print Editora, 2011.

Pastore J. **O custo dos acidentes e doenças do trabalho no Brasil**. Palestra proferida no Tribunal Superior do Trabalho. Brasília; 2011. Disponível em: http://www.josepastore.com.br/artigos/rt/rt_320.htm

ROONEY, J. J.; VANDEN HEUVEL, L. N. **Root Cause Analysis For Beginners**. Quality Progress, v.37, n.7, p. 45-53,2004.

RUPPENTHAL, Janis Elisa. **Gerenciamento de Riscos**. Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil. Santa Maria - RS, 2013.

SÁ, Ana Carolina Micheletti Gomide Nogueira de; SÁ, Antonio Tolentino Nogueira de; GOMIDE, Maíra Helena Micheletti. **Acidentes de trabalho suas repercussões legais, impactos previdenciários e importância da gestão no controle e prevenção**: Revisão sistemática de literatura. REVISTA MÉDICA DE MINAS GERAIS, v. 26, p. 13-19, 2017.

SAATY, T. L. (2005). **Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs and risks**. Publications, Pittsburgh – pgs. 343.

SANTANA, Vilma; NOBRE, Letícia; WALDVOGEL, Bernadette Cunha. **Acidentes de trabalho no Brasil entre 1994 e 2004: uma revisão**. Cien Saude Colet 2005; 10(4):841-855.

SANTOS, Helio Ricardo da Fonseca. **Proposta de metodologia de investigação de incidentes e desvios comportamentais como ferramenta complementar para gestão de SMS na implementação de empreendimentos de engenharia da indústria de Petróleo no Brasil**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Laboratório de Tecnologia, Gestão de Negócios e Meio Ambiente – LATEC da Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2009.

SCHMIDT, A M. A. **Processo De Apoio À Tomada De Decisão abordagens: AHP E Macbeth**, Florianópolis, 1995.

SHARMA, R. K. e SHARMA, P.; **Methodology and Theory System Failure Behavior and Maintenance Decision Making Using RCA, FMEAand FM**. Journal of Quality in Maintenance Engineering. v.16, n. 1, p. 64-88, 2010.

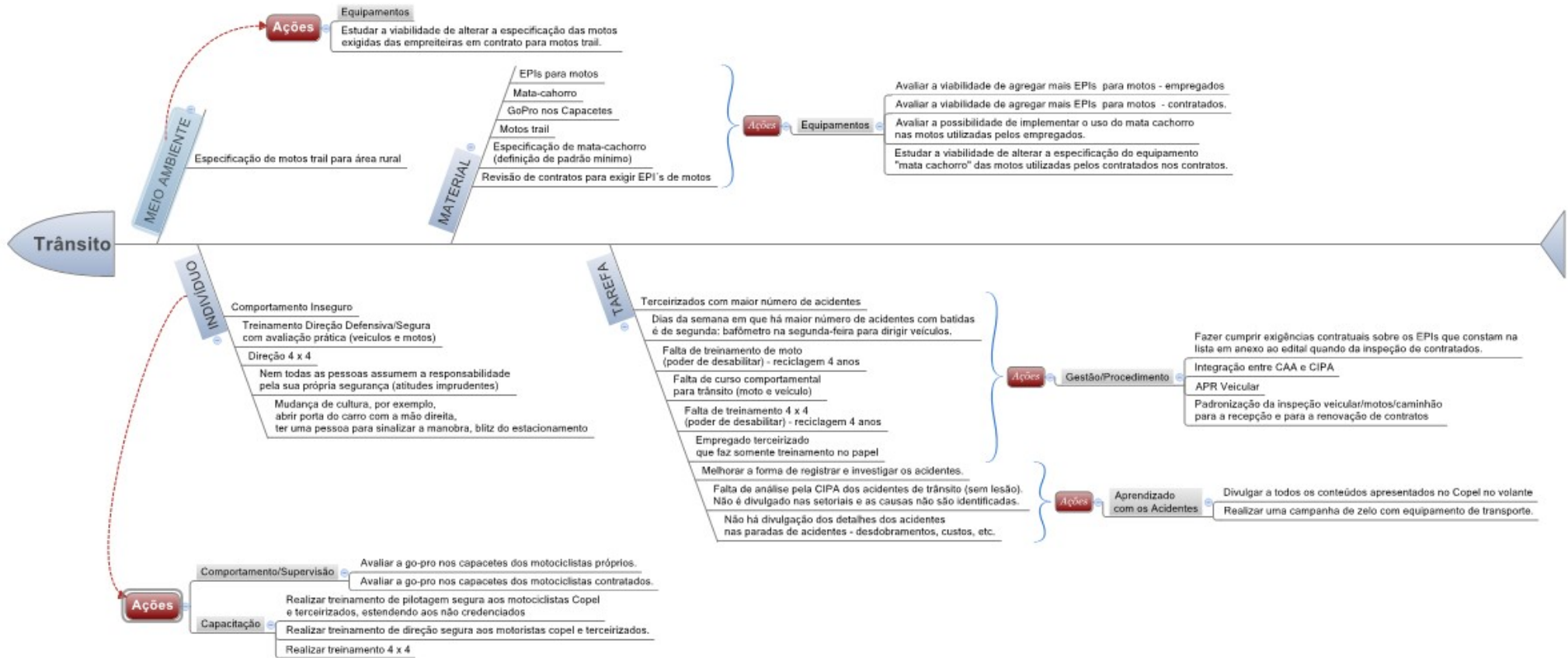
SILVA, Edna L. & MENEZES, Estera M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração da Dissertação**. 4ª. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, Paulo Renato Fernandes da. **Os efeitos dos acidentes de trabalho**. Revista do Tribunal Regional do Trabalho da 1ª Região – Rio de Janeiro, 2011. ISSN 2178-5651.

SILVEIRA, C. C., GOMES, M. C. **Ação corretiva: análise de causa raiz dos defeitos e proposta de um plano de ação.** 2011. Disponível em: <<http://ged.feevale.br/bibvirtual/Artigo/ArtigoCristianeSilveira.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2013.

VILELA, Rodolfo Andrade de Gouveia; ALMEIDA, Ildeberto Muniz de; MENDES, Renata Wey Berti. **Da vigilância para prevenção de acidentes de trabalho: contribuição da ergonomia da atividade.** Ciência & Saúde Coletiva. 2012.

APÊNDICE A – Síntese do estudo realizado pelo GT Trânsito



APÊNDICE B – Dados Confiabilidade Trânsito 2016

ReliabilityAnalyticsToolkit

Falha No.	Horas Unitárias Cumulativas do Tempo de Teste na Falha (X_i , Horas)	$\ln(T / X_i)$	MTBF 90% LCL	MTBF Instantâneo (horas)	MTBF 90% UCL	FR 90% LCL	Taxa de falha Instantânea (falhas / hora)	FR 90% de UCL
1	10	3,5973		22			0,0446	
2	53	1,9296	6	31	1.202	0,1688	0,0322	0,0008
3	66	1,7102	9	32	316	0,1171	0,0308	0,0032
4	73	1,6094	10	33	197	0,0968	0,0302	0,0051
5	205	0,5769	14	41	183	0,0701	0,0247	0,0055
6	209	0,5576	16	41	153	0,0638	0,0246	0,0065
7	227	0,4749	17	41	136	0,0587	0,0242	0,0073
8	231	0,4575	18	42	124	0,0553	0,0241	0,0081
9	308	0,1698	20	44	121	0,0498	0,0228	0,0083
10	327	0,1099	21	44	114	0,0473	0,0225	0,0087
Final do teste (T)	365		22	45	117	0,0086	0,0220	0,0463
N = 10 falhas		Soma = 11,1932						

Tipo de terminação de teste: tempo

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \ln\left(\frac{T}{X_i}\right)}$$

$$\hat{\beta} = 0,8934$$

Como o número de falhas (N) é menor que 20, uma estimativa não-viesada do parâmetro de crescimento deve ser usada (Ref. 3, pp.74 - 76):

$$\bar{\beta} = \frac{N-1}{N} \hat{\beta}$$

$$\bar{\beta} = 0,8041$$

O parâmetro de escala é (Ref. 1, pp.134):

04/08/2019

Rastreamento de Crescimento de Confiabilidade



) 135, 138):

$$\sum_{j=1}^m \left| \frac{m_j}{T} - \frac{m}{T} \right|$$

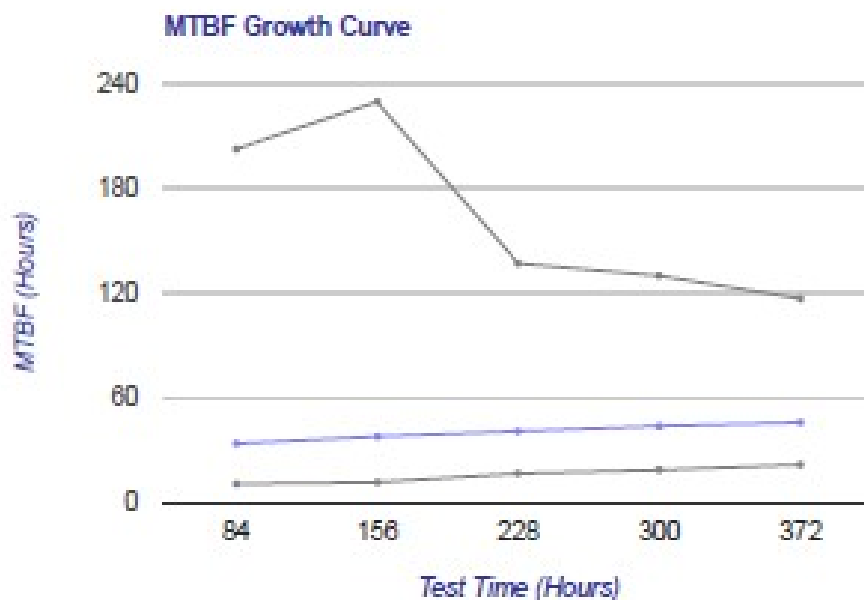
onde:

m = contagem total de falhas
 j = número de falhas
 T = tempo total de teste

$$G_{(m)}^2 = 0,0639$$

Valor crítico para o teste de ajuste de ajuste de Cramer-von Mises: 0,1670
 (Ref. 1, pp 144, $\alpha = 0,1$, M = 10)

Conclusão de Cramer-von Mises: No nível de significância de 10%, o valor crítico para o Cramer -von Mises goodness of fit test é 0,1670. Como 0,0639 é menor que 0,1670, o modelo AMSAA é aceito como compatível com os dados.

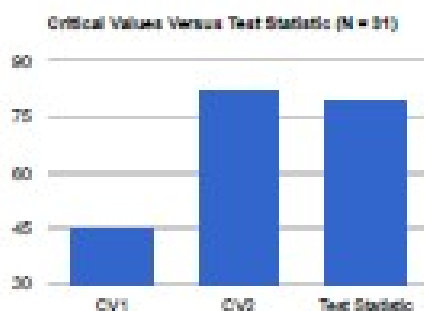


[Toolkit Home](#)

Comentários / Perguntas / Consultoria: reliabilityanalytics.com

o nível de significância selecionado e mais testes são necessários para provar a hipótese nula.

Para o $N = 31$ tempos de falha inseridos, $\hat{\beta}$ é 0,7828, indicando crescimento significativo da confiabilidade (taxa de crescimento de 0,2172). Para testar a hipótese nula de "não crescimento", a estatística χ^2_{2N} , por um teste de tempo truncado, pode ser usado. Sob a hipótese nula, esta estatística é qui-quadrado com $2N = 62$ graus de liberdade. No nível de significância de 10%, os valores críticos apropriados (CV) encontrados em uma tabela de percentis do qui-quadrado para 62 graus de liberdade são $CV1 = 45$ e $CV2 = 81$. A estatística de teste é $\chi^2_{2N} = 79$. a hipótese nula de "não crescimento" não é rejeitada no nível de significância de 10%, porque a estatística de teste, $\chi^2_{2N} = 79$, é maior que $CV1$ (45) e menor que $CV2$ (81). Portanto, a hipótese nula de que nenhum crescimento de confiabilidade está ocorrendo não pode ser rejeitada no nível de significância de 10%.



Estatística de Cramer-von Mises (Model Fit Test):

A estimativa de máxima verossimilhança sem viés (MLE) para o parâmetro de forma β para um teste de tempo terminado é (Ref. 3, pp 76):

$$\bar{\beta} = \frac{N - 1}{N} \hat{\beta}$$

$$\bar{\beta} = 0.7575$$

A estatística de Cramer von-Mises é dada por (Ref. 1, pp 135, 138):

$$C_m^2 = \frac{1}{12m} + \left[\sum_{j=1}^m \left(\frac{X_j}{T} \right)^{\bar{\beta}} - \frac{2j - 1}{2m} \right]^2$$

Onde:

- m = contagem total de falhas
- j = número de falhas
- T = tempo total de teste

$$C_m^2 = 0,2481$$

Valor crítico para o teste de ajuste de ajuste de Cramer-von Mises: 0,1720
(Ref. 1, pp 144, $\alpha = 0,1$, $M = 31$)

Conclusão de Cramer-von Mises: No nível de significância de 10%, o valor crítico para o Cramer -von Mises goodness of fit test é 0,1720. Como 0,2481 é maior que 0,1720, o modelo AMISAA é considerado não compatível com os dados.

04080019

Restreito de Crescimento de Confiabilidade

seymour.morris@reliabilityanalytics.com

Phone: 315-765-0001 (New York)



Referências:

1. Base MIL-HDBK-189, [Gerenciamento do Crescimento de Confiabilidade](#) (13 de fevereiro de 1981).
2. MIL-HDBK-189C, [Crescimento do Crescimento de Confiabilidade](#) (14 Jun 2011).
3. MIL-HDBK-781, [Métodos de Teste de Confiabilidade - Planos e Ambientes para Desenvolvimento, Qualificação e Produção de Engenharia](#) (14 de julho de 1987).
4. RADC-TR-84-20, [Estatísticas do Teste de Crescimento de Confiabilidade](#).

Copyright © 2010 - 2019 Reliability Analytics Corporation

Todo o conteúdo e materiais deste site são fornecidos "no estado em que se encontram". A Reliability Analytics não oferece garantias, expressas ou implícitas, incluindo as garantias de comercialização e adequação a uma finalidade específica; nem assume qualquer obrigação ou responsabilidade legal pelo conteúdo, integridade ou utilidade de qualquer informação, produto ou processo divulgado; nem representa que seu uso não infrinja os direitos de propriedade privada.

APÊNDICE C – Dados Confiabilidade Trânsito 2017

ReliabilityAnalyticsToolkit powered by Google App Engine

Falha No.	Horas Unitárias Cumulativas do Tempo de Teste na Falha (X_j , Horas)	$\ln(T / X_j)$	MTBF 90% LCL	MTBF Instantâneo (horas)	MTBF 90% UCL	FR 90% LCL	Taxa de falha Instantânea (falhas / hora)	FR 90% de UCL
1	3	4,8013		5			0,1887	
2	5	4,2905	1	6	229	0,8442	0,1688	0,0044
3	6	4,1081	2	6	60	0,6171	0,1623	0,0167
4	6	4,1081	2	6	37	0,5202	0,1623	0,0273
5	6	4,1081	2	6	28	0,4610	0,1623	0,0359
6	16	3,1273	3	8	29	0,3406	0,1311	0,0348
7	64	1,7410	4	10	34	0,2355	0,0970	0,0294
8	64	1,7410	4	10	31	0,2226	0,0970	0,0326
9	75	1,5824	5	11	29	0,2052	0,0938	0,0341
10	107	1,2271	5	12	30	0,1823	0,0868	0,0337
11	110	1,1994	6	12	28	0,1753	0,0863	0,0354
12	133	1,0095	6	12	28	0,1633	0,0828	0,0356
13	163	0,8061	7	13	28	0,1520	0,0792	0,0355
14	186	0,6742	7	13	28	0,1444	0,0770	0,0357
15	186	0,6742	7	13	27	0,1412	0,0770	0,0369
16	207	0,5672	7	13	27	0,1352	0,0752	0,0371
17	207	0,5672	8	13	26	0,1331	0,0752	0,0380
18	209	0,5576	8	13	26	0,1305	0,0750	0,0388
19	243	0,4068	8	14	26	0,1246	0,0726	0,0384
20	261	0,3334	8	14	26	0,1210	0,0715	0,0385
21	261	0,3334	8	14	26	0,1194	0,0715	0,0392
22	262	0,3336	8	14	25	0,1179	0,0714	0,0398
23	279	0,2687	9	14	25	0,1150	0,0705	0,0398
24	288	0,2369	9	14	25	0,1111	0,0700	0,0401
25	296	0,2095	9	14	25	0,1113	0,0696	0,0404
26	307	0,1730	9	14	25	0,1094	0,0690	0,0406
27	325	0,1161	9	15	25	0,1072	0,0682	0,0405
28	329	0,1038	9	15	24	0,1061	0,0680	0,0409
29	334	0,0888	10	15	24	0,1049	0,0678	0,0412
30	340	0,0710	10	15	24	0,1037	0,0675	0,0414

18/02/2019

Restreamento de Crescimento de Confiabilidade

31	352	0,0363	10	15	24	0,1023	0,0670	0,0414
Final do teste (T)	365		10	15	24	0,0411	0,0665	0,1015
N = 31 falhas		Soma = 39,6035						

Tipo de terminação de teste: tempo

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \ln\left(\frac{T}{X_i}\right)}$$

$$\hat{\beta} = 0,7828$$

O parâmetro de escala é (Ref 1., [Pp.134](#)):

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{T\hat{\beta}}$$

$$\hat{\lambda} = 0,3060 \text{ falhas / hora}$$

O Instantânea MTBF a 365 horas é (Ref 1., [Pp.127](#)):

$$MTBF(t) = \frac{1}{\lambda\hat{\beta}t^{\hat{\beta}-1}}$$

$$MTBF(365) = 15 \text{ Horas}$$

A Instantânea taxa de falha (ρ) às 365 horas é:

$$\rho(t) = \hat{\lambda}\hat{\beta}t^{\hat{\beta}-1}$$

$$\rho(365) = 0,0665 \text{ Falhas / Hora}$$

Teste estatístico para tendência:

Para um teste de tempo terminado, a estatística de teste é (Ref. 1, [pp.68](#)):

$$\chi_{2N}^2 = \frac{2N}{\hat{\beta}}$$

$$\chi_{2N=79}^2$$

Sob a hipótese nula de tempos exponenciais para falha (isto é, "nenhum crescimento" ou taxa de falha constante), χ_{2N}^2 tem uma distribuição qui-quadrado com 2N graus de liberdade. A estatística $\hat{\beta}$ estima o parâmetro de crescimento β . Existem três possibilidades:

1. Sem crescimento. No caso de nenhum crescimento, β é igual a 1.
2. Crescimento de confiabilidade positivo. Para um crescimento de confiabilidade positivo, β é menor que 1.
3. Crescimento de confiabilidade negativa. Para crescimento negativo (degradação da confiabilidade) β é maior que 1.

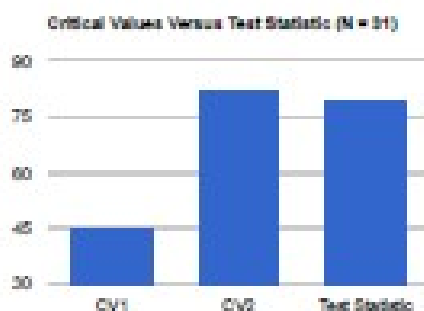
Para valores grandes ou pequenos χ_{2N}^2 , a hipótese nula de "nenhum crescimento" é rejeitada. Se a estatística do teste for maior que CV2, o crescimento positivo da confiabilidade está ocorrendo. Se for menor que CV1, a confiabilidade negativa está ocorrendo. Se a estatística de teste estiver entre CV1 e CV2, então nenhum crescimento está ocorrendo, ou qualquer crescimento que possa estar ocorrendo é inconclusivo, dado

18/02/2019

Restreamento de Crescimento de Confiabilidade

o nível de significância selecionado e mais testes são necessários para provar a hipótese nula.

Para o $N = 31$ tempos de falha inseridos, $\hat{\beta}$ é 0,7828, indicando crescimento significativo da confiabilidade (taxa de crescimento de 0,2172). Para testar a hipótese nula de "não crescimento", a estatística χ^2_{2N} , por um teste de tempo truncado, pode ser usado. Sob a hipótese nula, esta estatística é qui-quadrado com $2N = 62$ graus de liberdade. No nível de significância de 10%, os valores críticos apropriados (CV) encontrados em uma tabela de percentis do qui-quadrado para 62 graus de liberdade são $CV1 = 45$ e $CV2 = 81$. A estatística de teste é $\chi^2_{2N} = 79$. a hipótese nula de "não crescimento" não é rejeitada no nível de significância de 10%, porque a estatística de teste, $\chi^2_{2N} = 79$, é maior que $CV1$ (45) e menor que $CV2$ (81). Portanto, a hipótese nula de que nenhum crescimento de confiabilidade está ocorrendo não pode ser rejeitada no nível de significância de 10%.



Estatística de Cramer-von Mises (Model Fit Test):

A estimativa de máxima verossimilhança sem viés (MLE) para o parâmetro de forma β para um teste de tempo terminado é (Ref. 3, pp 76):

$$\bar{\beta} = \frac{N - 1}{N} \hat{\beta}$$

$$\bar{\beta} = 0.7575$$

A estatística de Cramer von-Mises é dada por (Ref. 1, pp 135, 138):

$$C_m^2 = \frac{1}{12m} + \left[\sum_{j=1}^m \left(\frac{X_j}{T} \right)^{\bar{\beta}} - \frac{2j-1}{2m} \right]^2$$

Onde:

- m = contagem total de falhas
- j = número de falhas
- T = tempo total de teste

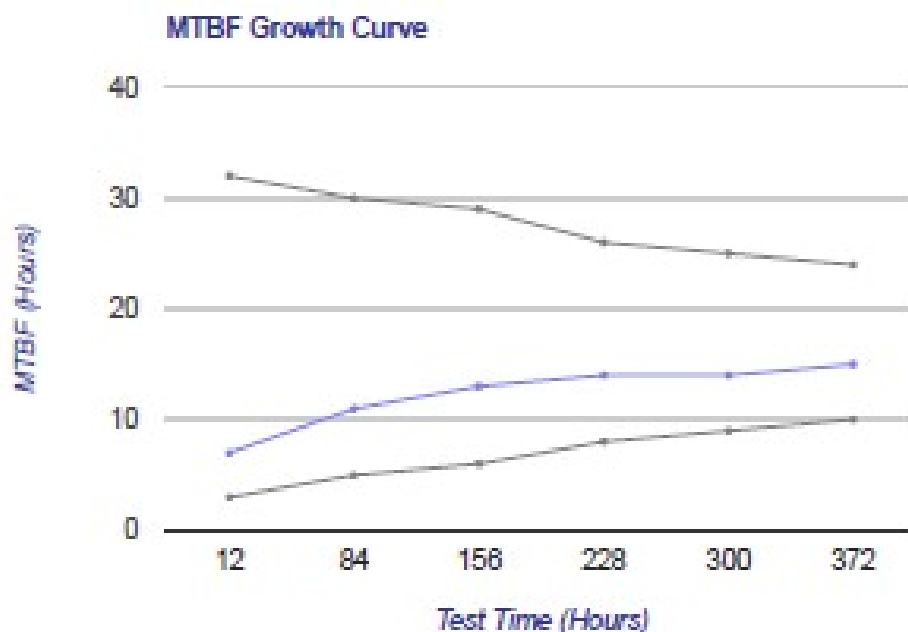
$$C_m^2 = 0,2481$$

Valor crítico para o teste de ajuste de ajuste de Cramer-von Mises: 0,1720
(Ref. 1, pp 144, $\alpha = 0,1$, $M = 31$)

Conclusão de Cramer-von Mises: No nível de significância de 10%, o valor crítico para o Cramer -von Mises goodness of fit test é 0,1720. Como 0,2481 é maior que 0,1720, o modelo AMISAA é considerado não compatível com os dados.

18032019

Rastreamento de Crescimento de Confiabilidade



[Toolkit Home](#)

Comentários / Perguntas / Consultoria: reliabilityanalytics.com

seymour.morris@reliabilityanalytics.com

Phone: 315-765-0001 (New York)

ReliabilityAnalytics 

Referências:

1. Base MIL-HDBK-159, [Gerenciamento do Crescimento de Confiabilidade](#) (13 de fevereiro de 1981).
2. MIL-HDBK-189C, [Guião do Crescimento de Confiabilidade](#) (14 Jun 2011).
3. MIL-HDBK-791, [Reliability Test Methods, Plans, and Environments for Engineering Development, Qualification, and Production](#) (14 Jul 1997).
4. RADC-TR-84-20, [Reliability Growth Testing Effectiveness](#).

Copyright © 2003 - 2018 [Reliability Analytics Corporation](#)

All content and materials on this site are provided "as is" Reliability Analytics makes no warranty, express or implied, including the warranties of merchantability and fitness for a particular purpose; nor assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed; nor represents that its use would not infringe privately owned rights.

APÊNDICE D – Dados Confiabilidade Trânsito 2018

ReliabilityAnalyticsToolkit

Falha No.	Horas Unitárias Cumulativas do Tempo de Teste na Falha (X_i - Horas)	$\ln(T / X_i)$	MTBF 90% LCL	MTBF Instantâneo (horas)	MTBF 90% UCL	FR 90% LCL	Taxa de falha Instantânea (falhas / hora)	FR 90% de UCL
1	9	3,7027		41			0,0243	
2	16	3,1273	7	34	1,302	0,1485	0,0297	0,0008
3	81	1,5054	5	19	186	0,1993	0,0524	0,0054
4	98	1,3149	6	18	106	0,1796	0,0560	0,0094
5	98	1,3149	6	18	81	0,1592	0,0560	0,0124
6	126	1,0636	6	16	62	0,1589	0,0612	0,0163
7	133	1,0095	7	16	53	0,1513	0,0623	0,0189
8	164	0,8000	6	15	44	0,1539	0,0671	0,0225
9	192	0,6424	6	14	39	0,1551	0,0709	0,0258
10	198	0,6116	7	14	36	0,1506	0,0717	0,0278
11	219	0,5108	7	13	33	0,1509	0,0742	0,0305
12	267	0,3126	6	13	29	0,1569	0,0796	0,0342
13	287	0,2404	6	12	27	0,1566	0,0816	0,0366
14	290	0,2300	7	12	26	0,1537	0,0819	0,0380
15	298	0,2028	7	12	25	0,1517	0,0827	0,0396
16	298	0,2028	7	12	25	0,1487	0,0827	0,0408
17	302	0,1895	7	12	24	0,1470	0,0831	0,0420
18	308	0,1698	7	12	23	0,1455	0,0837	0,0433
19	309	0,1666	7	12	23	0,1436	0,0837	0,0442
20	310	0,1633	7	12	22	0,1419	0,0838	0,0451
21	320	0,1316	7	12	22	0,1415	0,0848	0,0465
22	340	0,0710	7	12	21	0,1429	0,0866	0,0482
23	345	0,0564	7	11	20	0,1420	0,0870	0,0492
24	352	0,0363	7	11	20	0,1416	0,0877	0,0502
Final do teste (T)	365		7	11	20	0,0509	0,0888	0,1434
N = 24 falhas		Soma = 17,7763						

18/02/2019

Rastreamento de Crescimento de Confiabilidade

Tipo de terminação de teste: tempo

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \ln\left(\frac{T}{X_i}\right)}$$

$$\hat{\beta} = 1,3501$$

O parâmetro de escala é (Ref 1., [Pp.134](#)):

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{T^{\hat{\beta}}}$$

$$\hat{\lambda} = 0,0083 \text{ falhas / hora}$$

O Instantânea MTBF a 365 horas é (Ref 1., [Pp.127](#)):

$$MTBF(t) = \frac{1}{\lambda \hat{\beta} t^{\hat{\beta}-1}}$$

$$MTBF(365) = 11 \text{ Horas}$$

A Instantânea taxa de falha (ρ) às 365 horas é:

$$\rho(t) = \hat{\lambda} \hat{\beta} t^{\hat{\beta}-1}$$

$$\rho(365) = 0,0888 \text{ Falhas / Hora}$$

Teste estatístico para tendência:

Para um teste de tempo terminado, a estatística de teste é (Ref. 1, [pp.68](#)):

$$\chi_{2,N}^2 = \frac{2N}{\hat{\beta}}$$

$$\chi_{2,N}^2 = 36$$

Sob a hipótese nula de tempos exponenciais para falha (isto é, "nenhum crescimento" ou taxa de falha

constante), $\chi_{2,N}^2$ tem uma distribuição qui-quadrado com 2N graus de liberdade. A estatística $\hat{\beta}$ estima o parâmetro de crescimento β . Existem três possibilidades:

1. Sem crescimento. No caso de nenhum crescimento, β é igual a 1.
2. Crescimento de confiabilidade positivo. Para um crescimento de confiabilidade positivo, β é menor que 1.
3. Crescimento de confiabilidade negativa. Para crescimento negativo (degradação da confiabilidade) β é maior que 1.

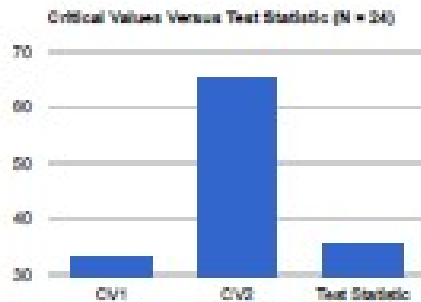
Para valores grandes ou pequenos $\chi_{2,N}^2$, a hipótese nula de "nenhum crescimento" é rejeitada. Se a estatística do teste for maior que CV2, o crescimento positivo da confiabilidade está ocorrendo. Se for menor que CV1, a confiabilidade negativa está ocorrendo. Se a estatística de teste estiver entre CV1 e CV2, então nenhum crescimento está ocorrendo, ou qualquer crescimento que possa estar ocorrendo é inconclusivo, dado o nível de significância selecionado e mais testes são necessários para provar a hipótese nula.

Para os N = 24 tempos de falha inseridos, $\hat{\beta}$ é 1,3501, indicando significativa degradação de confiabilidade (taxa de crescimento de -0,3501). Para testar a hipótese nula de "não crescimento", a estatística $\chi_{2,N}^2$, por um teste de tempo truncado, pode ser usado. Sob a hipótese nula, esta estatística é qui-quadrado com 2N = 48 graus de liberdade. No nível de significância de 10%, os valores críticos apropriados (CV) encontrados em uma tabela de percentis do qui-quadrado para 48 graus de liberdade são CV1 = 33 e CV2 = 65. A estatística de

18/02/2019

Restreamento de Crescimento de Confiabilidade

teste é $\chi^2_{2N} = 36$. a hipótese nula de "não crescimento" não é rejeitada no nível de significância de 10%, porque a estatística de teste, $\chi^2_{2N} = 36$, é maior que CV1 (33) e menor que CV2 (65). Portanto, a hipótese nula de que nenhum crescimento de confiabilidade está ocorrendo não pode ser rejeitada no nível de significância de 10%.



Estatística de Cramer-von Mises (Model Fit Test):

A estimativa de máxima verossimilhança sem viés (MLE) para o parâmetro de forma β para um teste de tempo finalizado é (Ref. 3, pp.76):

$$\bar{\beta} = \frac{N-1}{N} \hat{\beta}$$

$$\bar{\beta} = 1.2939$$

A estatística de Cramer von-Mises é dada por (Ref. 1, pp 135, 138):

$$C_m^2 = \frac{1}{12m} + \left[\sum_{j=1}^m \left(\frac{X_j}{T} \right)^{\bar{\beta}} - \frac{2j-1}{2m} \right]^2$$

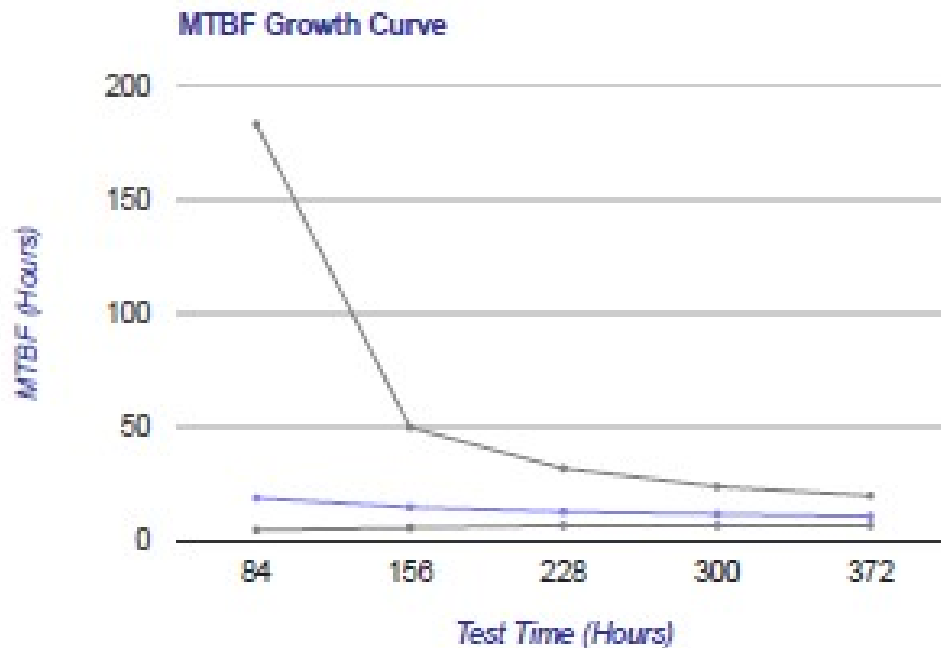
Onde:

- m = contagem total de falhas
- j = número de falhas
- T = tempo total de teste

$$C_{11}^2 = 0,1989$$

Valor crítico para teste de ajuste de ajuste de Cramer-von Mises: 0,1720
(Ref. 1, pp 144, $\alpha = 0,1$, $M = 24$)

Conclusão de Cramer-von Mises: No nível de significância de 10%, o valor crítico para o Cramer -von Mises goodness of fit test é 0,1720. Como 0,1989 é maior que 0,1720, o modelo AMSAA é considerado não compatível com os dados.



Reliability Analytics

Referências:

1. Base MIL-HDBK-189, [Gerenciamento do Crescimento de Confiabilidade](#) (13 de fevereiro de 1981).
2. MIL-HDBK-189C, [Gerenciamento do Crescimento de Confiabilidade](#) (14 Jun 2011).
3. MIL-HDBK-781, [Reliability Test Methods, Plans, and Environments for Improving Development, Qualification, and Production](#) (14 Jul 1987).
4. RADC-TR-84-30, [Reliability Growth Testing Effectiveness](#).

Copyright © 2010 - 2018 [Reliability Analytics Corporation](#)

All content and materials on this site are provided "as is" Reliability Analytics makes no warranty, express or implied, including the warranties of merchantability and fitness for a particular purpose; nor assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed; nor represents that its use would not infringe privately owned rights.

APÊNDICE E – Dados Confiabilidade Trânsito 2016 a 2018

18/02/2019

Rastreamento de Crescimento de Confiabilidade

ReliabilityAnalyticsToolkit

powered by
Google App Engine

Falha No.	Horas Unitárias Cumulativas do Tempo de Teste na Falha (X_i , Horas)	$\ln(T / X_i)$	MTBF 90% LCL	MTBF Instantâneo (horas)	MTBF 90% UCL	FR 90% LCL	Taxa de falha Instantânea (falhas / hora)	FR 90% de UCL
1	10	4,6959		66			0,0151	
2	53	3,0282	7	36	1,411	0,1370	0,0274	0,0007
3	66	2,8089	9	34	329	0,1127	0,0296	0,0030
4	73	2,7081	10	33	194	0,0984	0,0307	0,0052
5	205	1,6755	8	23	102	0,1260	0,0443	0,0098
6	209	1,6562	9	22	84	0,1160	0,0447	0,0119
7	227	1,5736	9	22	72	0,1166	0,0460	0,0139
8	231	1,5561	9	22	64	0,1061	0,0463	0,0155
9	308	1,2684	9	20	54	0,1122	0,0513	0,0186
10	327	1,2085	9	19	49	0,1100	0,0524	0,0203
11	368	1,0904	9	18	45	0,1110	0,0546	0,0224
12	370	1,0850	9	18	42	0,1079	0,0547	0,0235
13	371	1,0823	10	18	41	0,1051	0,0548	0,0245
14	371	1,0823	10	18	39	0,1027	0,0548	0,0254
15	371	1,0823	10	18	38	0,1005	0,0548	0,0262
16	381	1,0557	10	18	37	0,0994	0,0553	0,0272
17	429	0,9371	10	17	34	0,1021	0,0577	0,0292
18	429	0,9371	10	17	34	0,1003	0,0577	0,0298
19	440	0,9117	10	17	33	0,0998	0,0582	0,0307
20	472	0,8415	10	17	31	0,1009	0,0597	0,0321
21	475	0,8352	10	17	31	0,0998	0,0598	0,0328
22	498	0,7879	10	16	30	0,1003	0,0608	0,0339
23	528	0,7294	10	16	28	0,1013	0,0621	0,0351
24	551	0,6868	10	16	28	0,1018	0,0630	0,0361
25	551	0,6868	10	16	27	0,1009	0,0630	0,0366
26	572	0,6494	10	16	27	0,1012	0,0639	0,0376
27	572	0,6494	10	16	26	0,1004	0,0639	0,0380
28	574	0,6459	10	16	26	0,0998	0,0640	0,0384
29	608	0,5883	10	15	25	0,1011	0,0653	0,0396
30	626	0,5592	10	15	25	0,1013	0,0660	0,0404

https://reliabilityanalyticstoolkit.appspot.com/reliability_growth_tracking_solution

1/5

18/02/2019

Rastreamento de Crescimento de Confiabilidade

31	626	0,5592	10	15	25	0,1007	0,0660	0,0408
32	627	0,5576	10	15	24	0,1001	0,0660	0,0411
33	644	0,5308	10	15	24	0,1004	0,0666	0,0419
34	653	0,5169	10	15	24	0,1003	0,0670	0,0424
35	661	0,5048	10	15	23	0,1001	0,0672	0,0430
36	672	0,4883	10	15	23	0,1001	0,0676	0,0435
37	690	0,4618	10	15	23	0,1005	0,0683	0,0442
38	694	0,4560	10	15	22	0,1002	0,0684	0,0446
39	699	0,4489	10	15	22	0,0999	0,0686	0,0450
40	705	0,4403	10	15	22	0,0997	0,0688	0,0454
41	717	0,4234	10	14	22	0,0999	0,0692	0,0459
42	740	0,3919	10	14	21	0,1006	0,0700	0,0467
43	747	0,3824	10	14	21	0,1005	0,0702	0,0471
44	812	0,2990	10	14	21	0,1031	0,0724	0,0488
45	829	0,2783	10	14	20	0,1034	0,0729	0,0494
46	829	0,2783	10	14	20	0,1030	0,0729	0,0496
47	857	0,2451	10	14	20	0,1039	0,0738	0,0504
48	864	0,2369	10	14	20	0,1038	0,0740	0,0508
49	895	0,2017	10	13	19	0,1047	0,0749	0,0517
50	923	0,1709	9	13	19	0,1055	0,0757	0,0525
51	929	0,1644	9	13	19	0,1054	0,0759	0,0528
52	950	0,1420	9	13	19	0,1059	0,0765	0,0534
53	998	0,0928	9	13	18	0,1075	0,0779	0,0545
54	1,018	0,0729	9	13	18	0,1079	0,0784	0,0551
55	1,021	0,0700	9	13	18	0,1078	0,0785	0,0554
56	1,029	0,0622	9	13	18	0,1077	0,0787	0,0557
57	1,029	0,0622	9	13	18	0,1074	0,0787	0,0559
58	1,033	0,0583	9	13	18	0,1073	0,0788	0,0562
59	1,039	0,0525	9	13	18	0,1072	0,0790	0,0565
60	1,040	0,0515	9	13	18	0,1069	0,0790	0,0567
61	1,041	0,0506	9	13	18	0,1067	0,0790	0,0569
62	1,051	0,0410	9	13	17	0,1068	0,0793	0,0572
63	1,071	0,0222	9	13	17	0,1073	0,0798	0,0578
64	1,076	0,0175	9	13	17	0,1072	0,0800	0,0580
65	1,083	0,0110	9	12	17	0,1072	0,0802	0,0583
Final do teste (T)	1,095		9	12	17	0,0585	0,0805	0,1077
N = 65 falhas		Soma = 47,9464						

Tipo de terminação de teste: tempo

18/02/2019

Rastreamento de Crescimento de Confiabilidade

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \ln\left(\frac{T}{X_i}\right)}$$

$$\hat{\beta} = 1,3557$$

O parâmetro de escala é (Ref 1., [Pg.134](#)):

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{T^{\hat{\beta}}}$$

$$\hat{\lambda} = 0,0049 \text{ falhas / hora}$$

O Instantânea MTBF em 1.095 horas é (Ref 1., [Pg.127](#)):

$$MTBF(t) = \frac{1}{\lambda \hat{\beta} t^{\hat{\beta}-1}}$$

$$MTBF(1,095) = 12 \text{ Horas}$$

A Instantânea taxa de falha (ρ) às 1.095 horas é:

$$\rho(t) = \hat{\lambda} \hat{\beta} t^{\hat{\beta}-1}$$

$$\rho(1,095) = 0,0805 \text{ falhas / hora}$$

Teste estatístico para tendência:

Para um teste de tempo terminado, a estatística de teste é (Ref. 1, [pp.58](#)):

$$X_{2N}^2 = \frac{2N}{\hat{\beta}}$$

$$X_{2N}^2 = 96$$

Sob a hipótese nula de tempos exponenciais para falha (isto é, "nenhum crescimento" ou taxa de falha constante), X_{2N}^2 tem uma distribuição qui-quadrado com $2N$ graus de liberdade. A estatística $\hat{\beta}$ estima o parâmetro de crescimento β . Existem três possibilidades:

1. Sem crescimento. No caso de nenhum crescimento, β é igual a 1.
2. Crescimento de confiabilidade positivo. Para um crescimento de confiabilidade positivo, β é menor que 1.
3. Crescimento de confiabilidade negativa. Para crescimento negativo (degradação da confiabilidade) β é maior que 1.

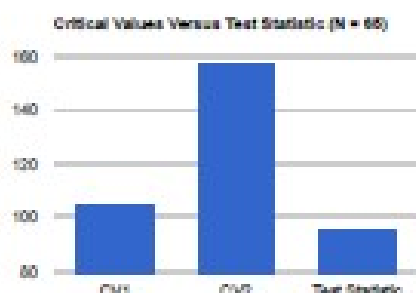
Para valores grandes ou pequenos X_{2N}^2 , a hipótese nula de "nenhum crescimento" é rejeitada. Se a estatística do teste for maior que $CV2$, o crescimento positivo da confiabilidade está ocorrendo. Se for menor que $CV1$, a confiabilidade negativa está ocorrendo. Se a estatística de teste estiver entre $CV1$ e $CV2$, então nenhum crescimento está ocorrendo, ou qualquer crescimento que possa estar ocorrendo é inconclusivo, dado o nível de significância selecionado e mais testes são necessários para provar a hipótese nula.

Para os tempos de falha $N = 65$ inseridos, $\hat{\beta}$ é 1.3557, indicando significativa degradação de confiabilidade (taxa de crescimento de -0.3557). Para testar a hipótese nula de "não crescimento", a estatística X_{2N}^2 , por um teste de tempo truncado, pode ser usado. Sob a hipótese nula, esta estatística é qui-quadrado com $2N = 130$ graus de liberdade. No nível de significância de 10%, os valores críticos apropriados (CV) encontrados em uma tabela de percentis do qui-quadrado para 130 graus de liberdade são $CV1 = 105$ e $CV2 = 158$. A estatística de teste é $X_{2N}^2 = 96$. Como o valor do teste estatística (96) é menor que $CV1$ (105), a hipótese nula de "nenhum crescimento" é rejeitada ao nível de significância de 10%. Há evidências de crescimento negativo da

18/02/2019

Restreamento de Crescimento de Confiabilidade

confiabilidade.

**Estadística de Cramer-von Mises (Model Fit Test):**

A estimativa da máxima verossimilhança sem viés (MLE) para o parâmetro de forma β para um teste de tempo terminado é (Ref. 3, pp. 76):

$$\bar{\beta} = \frac{N-1}{N} \hat{\beta}$$

$$\bar{\beta} = 1.3348$$

A estatística de Cramer von-Mises é dada por (Ref. 1, pp 135, 136):

$$C_m^2 = \frac{1}{12m} + \left[\sum_{j=1}^m \left(\frac{X_j}{T} \right)^{\bar{\beta}} - \frac{2j-1}{2m} \right]^2$$

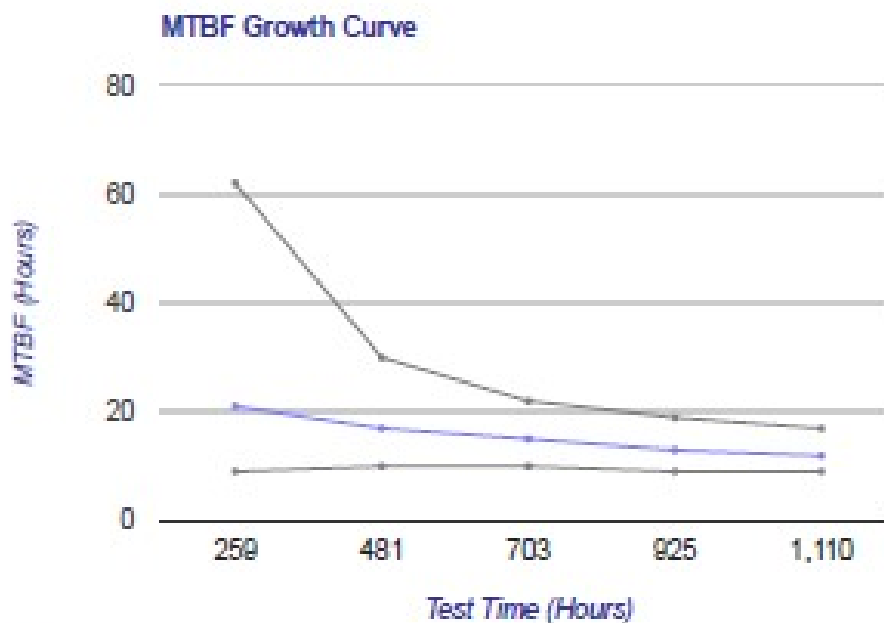
Onde:

- m = contagem total de falhas
- j = número de falhas
- T = tempo total de teste

$$C_{17}^2 = 0,0766$$

Valor crítico para o teste de ajuste de ajuste de Cramer-von Mises: 0,1730
(Ref. 1, pp 144, $\alpha = 0,1$, $M = 65$)

Conclusão de Cramer-von Mises: No nível de significância de 10%, o valor crítico para o Cramer -von Mises goodness of fit test é 0,1730. Como 0,0766 é menor que 0,1730, o modelo AMSAA é aceito como compatível com os dados.

**Referências:**

1. Base MIL-HDBK-189, [Clareamento do Crescimento de Confiabilidade](#) (13 de fevereiro de 1981).
2. MIL-HDBK-189C, [Reliability Growth Management](#) (14 Jun 2011).
3. MIL-HDBK-781, [Reliability Test Methods, Plans, and Environments for Engineering Development, Qualification, and Production](#) (14 Jul 1987).
4. RADC-TR-84-20, [Reliability Growth Testing Effectiveness](#).

Copyright © 2010 - 2018 Reliability Analytics Corporation

Tudo o conteúdo e materiais deste site são fornecidos "como estão". A Reliability Analytics não oferece garantia, expressa ou implícita, incluindo as garantias de comercialização e adequação a uma finalidade específica; nem assume qualquer obrigação ou responsabilidade legal pela exatidão, integridade ou utilidade de qualquer informação, serviço, produto ou processo divulgado; nem representa que seu uso não infrinja os direitos de propriedade privada.

APÊNDICE F – Dados Confiabilidade Trânsito 2017 a junho/2019

Falha No.	Horas Unitárias Cumulativas do Tempo de Teste na Falha (X_i , Horas)	$\ln(T / X_i)$	MTBF 90% LCL	MTBF Instantâneo (horas)	MTBF 90% UCL	FR 90% LCL	Taxa de falha Instantânea (falhas / hora)	FR 90% de UCL
1	2	6,1420		4			0,2515	
2	4	5,4489	1	5	186	1,0379	0,2076	0,0054
3	5	5,2257	1	5	50	0,7419	0,1951	0,0200
4	5	5,2257	2	5	30	0,6254	0,1951	0,0328
5	5	5,2257	2	5	23	0,5543	0,1951	0,0432
6	15	4,1271	3	7	26	0,3738	0,1439	0,0382
7	63	2,6920	4	10	34	0,2347	0,0967	0,0293
8	63	2,6920	5	10	31	0,2218	0,0967	0,0324
9	74	2,5311	5	11	30	0,2024	0,0925	0,0336
10	106	2,1717	6	12	31	0,1759	0,0837	0,0325
11	109	2,1438	6	12	29	0,1688	0,0831	0,0341
12	132	1,9524	6	13	30	0,1554	0,0788	0,0339
13	162	1,7476	7	13	30	0,1429	0,0744	0,0333
14	185	1,6148	7	14	30	0,1346	0,0717	0,0333
15	185	1,6148	8	14	29	0,1316	0,0717	0,0344
16	206	1,5073	8	14	29	0,1252	0,0696	0,0343
17	206	1,5073	8	14	28	0,1233	0,0696	0,0352
18	208	1,4976	8	14	28	0,1208	0,0695	0,0359
19	242	1,3462	9	15	28	0,1142	0,0666	0,0352
20	260	1,2745	9	15	28	0,1105	0,0653	0,0351
21	260	1,2745	9	15	28	0,1090	0,0653	0,0358
22	261	1,2707	9	15	28	0,1076	0,0652	0,0363
23	278	1,2076	10	16	28	0,1045	0,0641	0,0362
24	287	1,1757	10	16	27	0,1026	0,0635	0,0364
25	295	1,1482	10	16	27	0,1009	0,0630	0,0366
26	306	1,1166	10	16	27	0,0989	0,0624	0,0367
27	324	1,0544	10	16	27	0,0966	0,0614	0,0365
28	328	1,0422	10	16	27	0,0955	0,0612	0,0368
29	333	1,0270	11	16	27	0,0944	0,0610	0,0370
30	339	1,0092	11	16	27	0,0932	0,0607	0,0372

04/08/2019

Restreamento de Crescimento de Confiabilidade

31	351	0,9744	11	17	27	0,0917	0,0601	0,0371
32	374	0,9109	11	17	27	0,0895	0,0590	0,0368
33	381	0,8924	11	17	27	0,0885	0,0587	0,0369
34	446	0,7349	12	18	28	0,0842	0,0562	0,0356
35	463	0,6975	12	18	28	0,0828	0,0556	0,0356
36	463	0,6975	12	18	28	0,0824	0,0556	0,0358
37	491	0,6387	12	18	28	0,0806	0,0547	0,0354
38	498	0,6246	13	18	28	0,0799	0,0545	0,0355
39	529	0,5642	13	19	28	0,0781	0,0536	0,0352
40	557	0,5126	13	19	29	0,0766	0,0529	0,0349
41	563	0,5019	13	19	29	0,0761	0,0527	0,0350
42	584	0,4653	13	19	29	0,0750	0,0522	0,0348
43	632	0,3863	14	20	29	0,0730	0,0510	0,0342
44	652	0,3551	14	20	29	0,0721	0,0506	0,0341
45	655	0,3505	14	20	29	0,0717	0,0505	0,0342
46	663	0,3334	14	20	29	0,0712	0,0504	0,0343
47	663	0,3334	14	20	29	0,0709	0,0504	0,0344
48	667	0,3324	14	20	29	0,0705	0,0503	0,0345
49	673	0,3234	14	20	29	0,0701	0,0502	0,0346
50	674	0,3220	14	20	29	0,0698	0,0501	0,0347
51	675	0,3205	14	20	29	0,0696	0,0501	0,0349
52	685	0,3058	14	20	29	0,0691	0,0499	0,0348
53	705	0,2770	15	20	29	0,0684	0,0495	0,0347
54	710	0,2699	15	20	29	0,0680	0,0494	0,0347
55	717	0,2601	15	20	29	0,0677	0,0493	0,0348
56	835	0,1078	15	21	30	0,0647	0,0473	0,0334
57	866	0,0713	16	21	30	0,0638	0,0468	0,0332
58	913	0,0184	16	22	30	0,0627	0,0461	0,0329
59	918	0,0130	16	22	30	0,0625	0,0460	0,0329
Final do teste (T)	930		16	22	30	0,0328	0,0459	0,0622
N = 59 falhas		Soma = 81,6150						

Tipo de terminação de teste: tempo

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \ln\left(\frac{T}{X_i}\right)}$$

$$\hat{\beta} = 0,7229$$

04/08/2019

Rastreamento de Crescimento de Confiabilidade

O parâmetro de escala é (Ref 1., [Pg.134](#)):

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{T\hat{\beta}}$$

$$\hat{\lambda} = 0,4216 \text{ falhas / hora}$$

O Instantânea MTBF a 930 horas é (Ref 1., [Pg.127](#)):

$$MTBF(t) = \frac{1}{\lambda\hat{\beta}t^{\hat{\beta}-1}}$$

$$MTBF(930) = 22 \text{ Horas}$$

A Instantânea taxa de falha (ρ) às 930 horas é:

$$\rho(t) = \hat{\lambda}\hat{\beta}t^{\hat{\beta}-1}$$

$$\rho(930) = 0,0459 \text{ Falhas / Hora}$$

Teste estatístico para tendência:

Para um teste de tempo terminado, a estatística de teste é (Ref. 1, [pp.68](#)):

$$\chi_{2N}^2 = \frac{2N}{\hat{\beta}}$$

$$\chi_{2N}^2 = 163$$

Sob a hipótese nula de tempos exponenciais para falha (isto é, "nenhum crescimento" ou taxa de falha constante), χ_{2N}^2 tem uma distribuição qui-quadrado com 2N graus de liberdade. A estatística $\hat{\beta}$ estima o parâmetro de crescimento β . Existem três possibilidades:

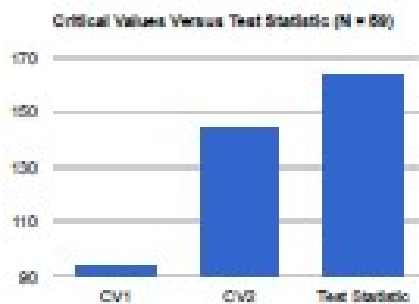
1. Sem crescimento. No caso de nenhum crescimento, β é igual a 1.
2. Crescimento de confiabilidade positivo. Para um crescimento de confiabilidade positivo, β é menor que 1.
3. Crescimento de confiabilidade negativa. Para crescimento negativo (degradação da confiabilidade) β é maior que 1.

Para valores grandes ou pequenos χ_{2N}^2 , a hipótese nula de "nenhum crescimento" é rejeitada. Se a estatística do teste for maior que CV2, o crescimento positivo da confiabilidade está ocorrendo. Se for menor que CV1, a confiabilidade negativa está ocorrendo. Se a estatística de teste estiver entre CV1 e CV2, então nenhum crescimento está ocorrendo, ou qualquer crescimento que esteja ocorrendo é inconclusivo, dado o nível de significância selecionado e mais testes são necessários para provar a hipótese nula.

Para os tempos de falha $N = 59$ inseridos, $\hat{\beta}$ é 0,7229, indicando crescimento significativo da confiabilidade (taxa de crescimento de 0,2771). Para testar a hipótese nula de "não crescimento", a estatística χ_{2N}^2 , por um teste de tempo truncado, pode ser usado. Sob a hipótese nula, esta estatística é qui-quadrado com $2N = 118$ graus de liberdade. No nível de significância de 10%, os valores críticos apropriados (CV) encontrados em uma tabela de percentis do qui-quadrado para 118 graus de liberdade são CV1 = 94 e CV2 = 144. A estatística de teste é $\chi_{2N}^2 = 163$. Como o valor do teste estatística (163) é maior que CV2 (144), a hipótese nula de "nenhum crescimento" é rejeitada ao nível de significância de 10%.

04/08/2019

Restreamento de Crescimento de Confiabilidade

) para o parâmetro de forma β para um teste de tempo

$$F = U_j / IU_j$$

A estatística de Cramer von-Mises é dada por (Ref. 1, pp 135, 138):

$$C_m^2 = \frac{1}{12m} + \left[\sum_{j=1}^m \left(\frac{X_j}{T} \right)^{\bar{\beta}} - \frac{2j-1}{2m} \right]^2$$

Onde:

- m = contagem total de falhas
- j = número de falhas
- T = tempo total de teste

$$C_{59}^2 = 0,1080$$

Valor crítico para o teste de ajuste de ajuste de Cramer-von Mises: 0,1730
(Ref. 1, pp 144, $\alpha = 0,1$, M = 59)

Conclusão de Cramer-von Mises: No nível de significância de 10%, o valor crítico para o Cramer -von Mises goodness of fit test é 0,1730. Como 0,1080 é menor que 0,1730, o modelo AMSAA é aceito como compatível com os dados.