

MODELO FMEA/FMECA APLICADO AO SISTEMA DE FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA DE TRANSPORTE

Igor Tureta Zanchetta

Rio de Janeiro

Julho de 2022

MODELO FMEA/FMECA APLICADO AO SISTEMA DE FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA DE TRANSPORTE

Igor Tureta Zanchetta

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador(es): Matheus Henrique de Sousa Oliveira

Rio de Janeiro

Julho de 2022

RESUMO

A CET-RIO detém cerca de 800 equipamentos de fiscalização na cidade do Rio de Janeiro, contudo, alguns destes equipamentos apresentam erros de captura de dados, o que impacta de maneira negativa os relatórios de tráfego urbano. Diante desse problema, o presente trabalho tem como objetivo identificar as possíveis falhas de um sistema de fiscalização eletrônica. Foi feita uma pesquisa bibliográfica acerca dos modelos de identificação de falhas em sistemas, no qual foram separados em dois grupos, os modelos qualitativos/quantitativos e os modelos computacionais, totalizando 3 modelos qualitativos/quantitativos e 6 modelos computacionais. A partir dos modelos estudados foi escolhido um desses de acordo com 5 critérios, sendo eles: 1) simplicidade do modelo, 2) facilidade de implementação, 3) impacto no dia-a-dia da organização, 4) visibilidade da equipe e 5) recursos para implementação. O modelo escolhido para a elaboração deste trabalho foi o FMEA/FMECA, no qual é um modelo qualitativo/quantitativo, que tem como objetivo exaltar as possíveis falhas de um determinado sistema a partir da aplicação de notas ponderadas para cada falha observada. Os resultados obtidos evidenciaram três grandes falhas no sistema da CET-RIO, no quais são: 1) falta de manutenção preventiva, 2) capacidade de registro e 3) dados duplicados. Além disso foi identificado as limitações que o modelo pode apresentar ao longo de uma pesquisa científica.

Sumário

Capítulo 1: Introdução	8
1.1 Considerações iniciais	8
1.2 Justificativa e motivação da pesquisa.....	10
1.3 Objetivos de estudo	11
Capítulo 2: Modelos Qualitativos para identificar falhas	12
2.1 Conceito EAP	12
2.2 Objetivos do EAP	12
2.3 Procedimento para desenvolvimento do EAP.....	13
2.4 Conceito Ishikawa.....	15
2.5 Objetivos Ishikawa	16
2.6 Procedimentos para desenvolvimento do Ishikawa	16
Capítulo 3: Modelo Qualitativo/Quantitativo para identificar falhas	18
3.1 Contexto histórico	18
3.2 FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)	19
3.3 FMECA (<i>Failure Modes, Effects and Criticality Analysis</i>).....	21
3.4 Etapas para implementar o método FMEA/FMECA	22
3.5 Estudo de caso com base no método FMEA/FMECA	24
Capítulo 4: Modelos Computacionais para identificar falhas	28
4.1 Anomalia de dados	28
4.2. Método Cluster	29
4.3 Método Gaussian.....	29
4.3 Método Markov Chain.....	30
4.4 Método Isolation Forest	30
4.5 Método One Class	31
4.6 Método Recurrent Neural Network	31
Capítulo 5: Procedimento Metodológico.....	32

5.1 Etapa 1: Revisão Bibliográfica	33
5.2 Escolha do Método	33
5.3 Etapa 2: Elaboração e Aplicação do Questionário.....	34
5.4 Etapa 4: Implementação do Modelo	36
5.5 Etapa 5: Resultados	38
Capítulo 6: Implementação modelo FMEA/FMECA	40
6.1 Modos de Falhas	40
6.2 Quadro FMEA/FMECA	41
Capítulo 7: Análise dos Resultados	45
Capítulo 8: Críticas aos modelos e considerações finais	51
Referências Bibliográficas	54
Anexo	60

Lista de Figuras

Figura 1: Etapas do método FMEA/FMECA.....	20
Figura 2: Procedimento metodológico	25
Figura 3: Padrão de comportamento dos equipamentos.....	28
Figura 4: Algoritmo de busca por padrões	29
Figura 5: Algoritmo de média móvel.....	30
Figura 6: Exemplo de anomalias com base no NAB	35
Figura 7: Método de agrupamento de dados.....	37
Figura 8: Método Gaussian	38
Figura 9: Dado sem formatação do bando de dados da CET-RIO.....	42
Figura 10: Classificação das sequências numéricas.....	43

Lista de Tabelas

Tabela 1: Aplicação do FMEA de produto	20
Tabela 2: Índices de Ocorrência, Severidade e Detecção	22
Tabela 3: Funções, modo de falha e efeitos do serviço de transporte de carga	25
Tabela 4: Resumo da aplicação do método FMEA	27
Tabela 5: Resumo das variações do algoritmo DSNA	32
Tabela 6: Resumo dos modelos de identificação de falhas em sistemas	34
Tabela 7: Delimitação do estudo	35
Tabela 8: Quadro resumo do modelo FMEA/FMECA	42
Tabela 9: Quadro FMEA/FMECA	46
Tabela 10: Ensaio Socioeconômico	52

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

Este capítulo inicial da dissertação abordará a ideia central do trabalho, destacando o principal problema em estudo e o que se espera concluir ao final da dissertação. Para isso, o Capítulo 1 foi dividido em 4 tópicos, sendo eles: (1) considerações iniciais, (2) justificativa e motivação da pesquisa, (3) objetivos do estudo e (4) estrutura da dissertação.

1.1 Considerações iniciais

O planejamento eficiente da mobilidade urbana baseado em uma lógica de valorização do bem-estar socioeconômico é uma peça fundamental para um desenvolvimento eficiente nas cidades, principalmente em se tratando de grandes cidades como Rio de Janeiro. A mobilidade urbana é um pilar importante no planejamento socioeconômico eficiente em grandes centros urbanos. Verifica-se que com boas práticas de planejamento de mobilidade urbana é possível aumentar a qualidade de vida das pessoas em decorrência da minimização dos congestionamentos e também da redução do tempo de permanência em viagens urbanas (RUBIM; LEITÃO, 2013).

O planejamento eficiente da mobilidade urbana baseado em uma lógica de valorização do bem-estar socioeconômico é feito por gestores públicos e, portanto, são as decisões em conjunto que proporcionam o impacto desejado. Tais decisões, por parte dos gestores públicos, são financiadas com recursos públicos, ou seja, com o dinheiro do pagador de imposto, logo espera-se que as decisões tomadas apresentem impactos positivos para a sociedade. Para que as políticas públicas sejam implementadas e para haver o bom funcionamento do poder público, as prefeituras concedem o serviço, por exemplo, a fiscalização de trânsito da cidade, às empresas privadas, empresas públicas ou órgãos públicos (BUENO, 2015, GOMIDE, 2003).

Neste mesmo sentido, a CET-RIO é uma empresa pública responsável pela fiscalização do tráfego de veículos da cidade do Rio de Janeiro. De acordo com o Art. 8º da Lei nº 881 de 11 de julho de 1986, compete à CET-RIO: (1) planejamento, implantação e execução, nas vias e logradouros do município, dos serviços técnicos e administrativos relativos à operação do sistema viário e de

circulação; (2) planejamento, implantação, administração, operação e exploração dos estacionamentos e garagens próprios ou públicos municipais; (3) execução dos serviços de operação, controle e manutenção do sistema de sinalização do Município do Rio de Janeiro; (4) a implantação e a exploração econômica de equipamentos urbanos e atividades complementares, na forma e em locais definidos por decreto do Poder Executivo; (5) prestação de serviços, autorização, coordenação, execução, controle e fiscalização de obras relacionadas com a operação do sistema viário, ou que com ela interfira, nas vias e logradouros do município; e (6) a prestação de consultoria em assuntos técnicos de sua especialidade (CET-RIO, 2020).

Dentre as competências que são delegadas à CET-RIO, será considerada, para fins de pesquisa e desenvolvimento da dissertação, a competência (3) que dispõem das obrigações sobre a fiscalização de equipamentos de sinalização e controle de tráfego. Ou seja, a CET-RIO elabora, controla o trânsito e divulga relatórios periódicos sobre acidentes e fluidez nas vias urbanas para a SMT. Em consonância com isso, o principal problema enfrentado pela CET-RIO, no âmbito do controle e fiscalização de trânsito, é a falha e erro dos equipamentos de captura de dados, isto é, alguns equipamentos de fiscalização não computam da maneira correta o fluxo de veículos (CET-RIO, 2020).

A CET-RIO detém cerca de 800 equipamentos de fiscalização no qual são registradas as seguintes informações: 1) tipo de veículo, 2) velocidade, 3) localização, 4) data e horário. Dentre esses equipamentos, alguns deixam de registrar dados durante uma hora, duas horas ou até mesmo uma quantidade maior de horas ininterruptamente. Este tipo de problema é apenas um dos quais são observados diretamente do histórico de dados. Diante disso, observa-se que esses erros podem ocorrer em virtude da dificuldade que os equipamentos têm de registrar o fluxo de veículos ou pelo seu mau funcionamento. Supõem-se que a dificuldade em registrar os dados decorre de dias com muitas chuvas ou devido ao reflexo dos raios solares nas lentes em determinado momento do dia (CET-RIO, 2020).

Diante deste problema, esta dissertação tem como objetivo identificar as possíveis falhas no sistema de fiscalização da CET-RIO. Com base nos

resultados espera-se, a partir da metodologia empregada, proporcionar medidas corretivas e preventivas a fim de auxiliar a tomada de decisão dos gestores e com isso minimizar os custos operacionais da empresa.

Para o desenvolvimento do trabalho, será utilizado o método FMEA/FMECA, conforme apresentando ao longo do Capítulo 2. O procedimento metodológico, que contém todas as informações acerca desse método, será discutido ao longo do Capítulo 3.

O próximo tópico irá abordar os assuntos acerca da justificativa do tema em assim como a motivação para a elaboração da pesquisa.

1.2 Justificativa e motivação da pesquisa

Um aspecto bastante difundido na literatura, no âmbito da engenharia de transporte, é o estudo acerca do rápido progresso da modernização urbana nos últimos anos, em que a vida de muitas pessoas assim como o padrão de comportamento sofreu mudanças significativas. Essas mudanças implicaram tanto em pontos positivos, como aumento da qualidade de vida e eficiência dos sistemas produtivos, quanto pontos negativos, como congestionamento no trânsito, consumo de energia e poluição (ZHENG *et al.*, 2011).

Nessa situação, surge a necessidade de um planejamento estruturado para o desenvolvimento urbano eficiente a fim de solucionar os problemas de fluxo de tráfego, mobilidade humana e dados geográficos. A partir disso, ferramentas auxiliares, tal como o FMEA/FMECA, diagrama de Ishikawa, estrutura analítica de projeto (EAP) e algoritmos de detecção de anomalias surgem para dar apoio a tomada de decisão e proporcionar melhores resultados de análise. O modelo FMEA/FMECA é uma ferramenta aplicada por engenheiros, gestores e pesquisadores como uma maneira de incorporar ao sistema em estudo todas as possíveis falhas associadas a suas causas. Ou seja, o FMEA/FMECA pode ser considerado um sumário do conhecimento do profissional (incluindo uma análise de itens que poderiam falhar baseado na experiência e em assuntos passados) de como um

Busca-se por meio deste trabalho agregar conhecimento no âmbito acadêmico e incentivar alunos e pesquisadores a empregar métodos que auxiliam a tomada de decisão para problemas reais no âmbito da engenharia de transporte.

1.3 Objetivos de estudo

Os objetivos que compõem o presente estudo são divididos em objetivo geral e objetivos específicos. O objetivo principal da dissertação é identificar as possíveis falhas provenientes do sistema de fiscalização da CET-Rio. A fim de alcançar o objetivo principal foi elaborado a seguinte hipótese: modelos qualitativos/quantitativos são suficientes para abranger todos os aspectos de um determinado sistema em estudo?

Para alcançar o objetivo geral proposto têm-se os seguintes objetivos específicos:

1. Realizar pesquisas bibliográficas acerca de sistemas de transporte rodoviário, de equipamentos de fiscalização.
2. Extrair informações relevantes sobre as possíveis falhas no sistema de fiscalização da CET-RIO a fim de identificar as principais causas e motivos de falhas dos equipamentos.
3. Identificar os métodos qualitativos/quantitativos e os métodos computacionais mais utilizados para identificação de falhas em sistemas.
4. Escolher um modelo para aplica-lo e avalia-lo a fim de apontar os pontos principais do modelo, assim como suas limitações e principais diferenças dos demais modelos.

CAPÍTULO 2: MODELOS QUALITATIVOS PARA IDENTIFICAR FALHAS

Este capítulo abordará dois métodos qualitativos para identificação de falhas em potenciais em um sistema, a fim de auxiliar a tomada de decisão.

2.1 Conceito EAP

A Estrutura Analítica do Projeto (EAP), é essencial como parte do ciclo de vida e do cronograma de um projeto. A EAP começa com uma hierarquia de tarefas e níveis que ajudam a identificar como o projeto fluirá dentro de um cronograma projetado definido pelo gerente de projeto. O *Project Management Institute* define a EAP como, "Representando a soma total da decomposição de todos os trabalhos que o projeto engloba, do início ao fim. " (CEREZO-NARVÁEZ, et al, 2020).

Uma EAP de projeto é um agrupamento orientado ao produto de elementos de trabalho do projeto que organizam e definem o escopo total do projeto. A EAP é uma estrutura de vários níveis que organiza e exibe graficamente elementos que representam o trabalho a ser realizado em relacionamentos lógicos. Cada nível descendente representa uma definição / divisão cada vez mais detalhada de um componente do projeto. É a estrutura e o código que integra e relaciona todo o trabalho do projeto (técnico, cronograma e orçamento) e é usado durante todo o ciclo de vida de um projeto para identificar, atribuir e rastrear escopos de trabalho específicos. A EAP será estabelecida com detalhes suficientes para que cada conta de controle tenha um elemento EAP exclusivo. A EAP é descrita no Plano de Execução do Projeto (PEP) ou anexada como um apêndice (SIAMI-IRDEMOOSA, DINDARLOO, 2015).

2.2 Objetivos do EAP

O principal objetivo da EAP é que, em primeiro lugar, ela ajuda a definir e organizar o escopo do projeto total de forma mais precisa e específica. A maneira

mais comum de fazer isso é usando uma estrutura de árvore hierárquica. Cada nível dessa estrutura divide as entregas ou objetivos do projeto em partes mais específicas e mensuráveis. O segundo motivo para usar uma Estrutura analítica do projeto em seus projetos é ajudar na atribuição de responsabilidades, alocação de recursos, monitoramento e controle do projeto. A EAP torna as entregas mais precisas e concretas para que a equipe do projeto saiba exatamente o que deve ser realizado em cada entrega (CEREZO-NARVÁEZ, et al, 2020).

Isso também permite uma melhor estimativa de custo, risco e tempo, porque você pode trabalhar desde as tarefas menores até o nível de todo o projeto. Por fim, permite que você verifique as especificações de todas as entregas com as partes interessadas e certifique-se de que não há nada faltando ou sobreposto. Além disso, usando a estrutura em árvore, você também pode usar a metodologia de Mapeamento Mental, se estiver familiarizado com ela (DEVI, REDDY, 2012).

2.3 Procedimento para desenvolvimento do EAP

Para começar, o gerente de projeto e os especialistas no assunto determinam as principais entregas do projeto. Depois de concluído, eles começam a decompor as entregas que identificaram, dividindo-as em blocos de trabalho sucessivamente menores, denominadas de pacotes de trabalhos, conforme a Figura 1.

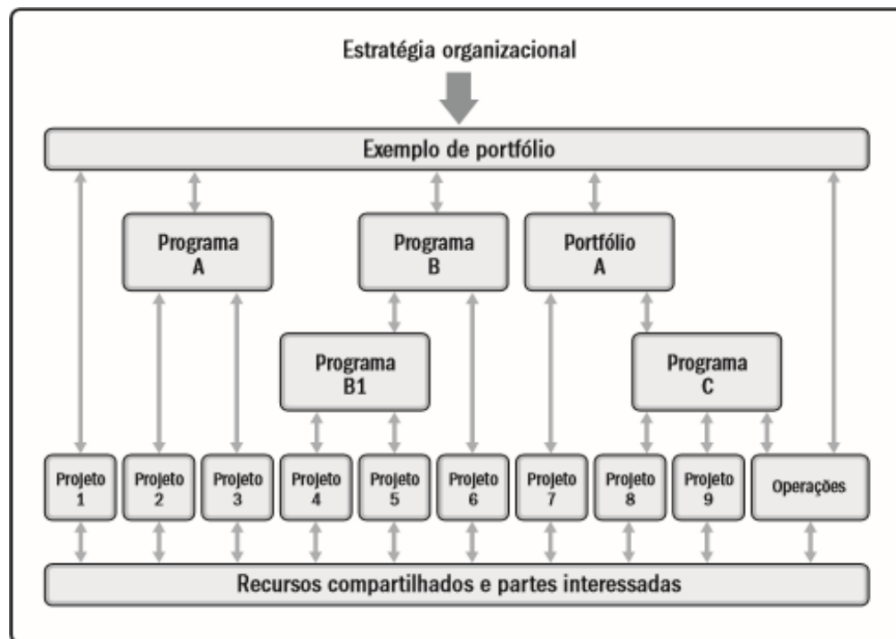


Figura 1: Modelo estrutural do EAP
 Fonte: Adaptado de SEQUEIRA, LOPES (2015)

O pacote de trabalho é o produto final da estrutura analítica do projeto. É uma coleção de uma série de trabalhos ou tarefas relacionadas, está situado na parte inferior da estrutura analítica do projeto, algo que é fácil de ser controlado pelos membros da equipe do projeto. É também a base para o gerenciamento posterior de projetos e com base em todo o andamento do plano, planejamento de gestão da qualidade, planejamento de custos, pessoal é baseado nisso é a menor unidade de gerenciamento de projetos (SIAMI-IRDEMOOSA, DINDARLOO, 2015).

No elemento da estrutura analítica do projeto (pacote de trabalho, uma camada intermediária ou estrutura analítica do projeto), quando concluído, produzirá uma série de entregas. Ao mesmo tempo, de acordo com a situação real do projeto, a equipe pode fazer esta unidade de trabalho associada a um marco. O marco marca um dos resultados ou etapas do trabalho concluídas. Normalmente, o marco está intimamente associado a entregas. Ao atingir marcos, os membros da equipe do projeto podem assinar um resumo do projeto, reflexão. Se forem encontrados problemas, você pode tomar as medidas corretivas necessárias. O *Milestone* existe para tornar os objetivos da equipe específicos, em comparação

com o objetivo principal do projeto e as entregas, os marcos com mais facilidade e controle, para reduzir os riscos do projeto (SEQUEIRA, LOPES, 2015).

2.4 Conceito Ishikawa

A maioria das organizações usa ferramentas de qualidade para vários fins relacionados ao controle e garantia da qualidade. Embora um bom número de ferramentas de qualidade específicas esteja disponível para certos domínios, campos e práticas, algumas das ferramentas de qualidade podem ser usadas em tais domínios. Essas ferramentas de qualidade são bastante genéricas e podem ser aplicadas a qualquer condição. Existem sete ferramentas básicas de qualidade usadas nas organizações (MEDEIROS SANTOS, et al, 2020).

Essas ferramentas podem fornecer muitas informações sobre problemas na organização auxiliando na derivação de soluções para os mesmos. As sete ferramentas são: histograma, diagrama de causa e efeito, diagrama de Pareto, diagrama de correlação, gráfico de controle, estratificação de dados, Brainstorming. Os diagramas de Ishikawa foram popularizados na década de 1960 por Kaoru Ishikawa, que foi pioneiro nos processos de gerenciamento de qualidade nos estaleiros Kawasaki e, no processo, se tornou um dos fundadores da administração moderna. É conhecido como diagrama em espinha de peixe por causa de sua forma, semelhante à vista lateral de um esqueleto de peixe. Dr. Kaoru Ishikawa (1915 - 1989) foi um professor japonês, conselheiro e motivador no que diz respeito aos desenvolvimentos inovadores no campo da gestão da qualidade. Kaoru Ishikawa é mais conhecido pelo desenvolvimento do conceito do diagrama de espinha de peixe, que também é conhecido como “diagrama de Ishikawa”. Este diagrama ainda é usado em muitas organizações para fazer diagnósticos ou tomar ações concretas nas quais a causa raiz do problema é identificada (MIAO, 2015).

Com seu diagrama de causa e efeito (também chamado de diagrama "Ishikawa" ou "espinha de peixe"), o líder de gerenciamento fez avanços significativos e específicos na melhoria da qualidade. O desenho do diagrama se parece muito com o esqueleto de um peixe, conforme a Figura 2. Os diagramas de espinha de peixe são normalmente trabalhados da direita para a esquerda, com cada "osso"

grande do peixe se ramificando para incluir ossos menores contendo mais detalhes (MA, et al, 2020).

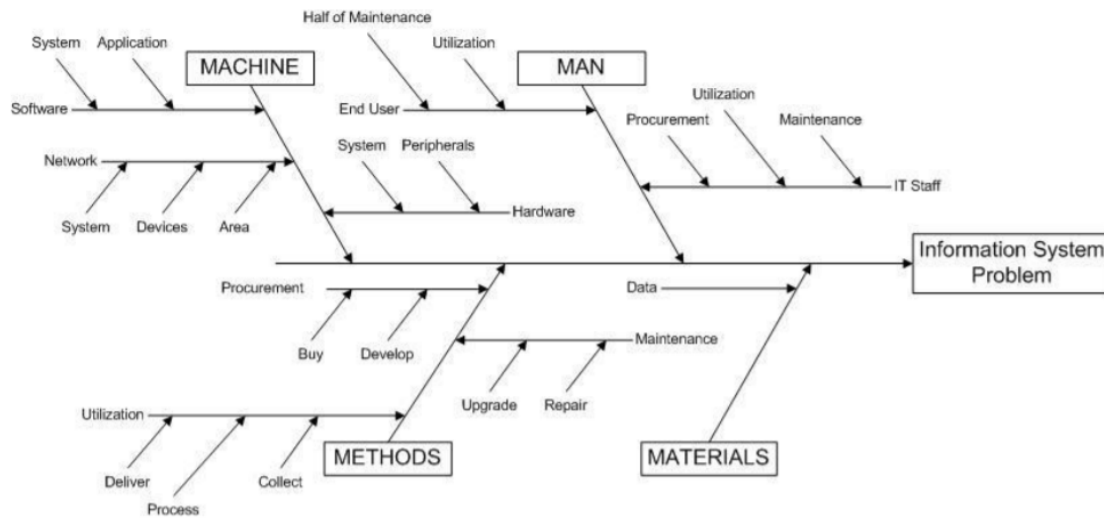


Figura 2: Diagrama de Ishikawa
Fonte: Adaptado de MEDEIROS SANTOS, et al (2020).

2.5 Objetivos Ishikawa

A Objetivo do diagrama de Ishikawa é servir como uma ferramenta para auxiliar a tomada de decisão em que as causas potenciais de um defeito são detalhadas a fim de oferecer a possibilidade de identificar e analisar todos os fatores, que se relacionam com o problema estudado. Esta ferramenta é excelente para capturar o brainstorming da equipe saída e para preencher a partir da 'imagem ampla'. Ajuda a organizar e relacionar fatores, proporcionando uma visão sequencial. Este diagrama trata da direção do tempo, mas não da quantidade. Pode se tornar muito complexo e pode ser difícil de identificar ou demonstrar inter-relacionamentos (MEDEIROS SANTOS, et al, 2020).

2.6 Procedimentos para desenvolvimento do Ishikawa

A técnica usa uma abordagem baseada em diagramas para pensar em todas as possíveis causas de um problema. Isso o ajuda a realizar uma análise completa da situação. Existem quatro etapas para usar a ferramenta: (1) identificar o problema, (2) descobrir os principais fatores envolvidos, (3) identificar as possíveis causas e (4) analisar o diagrama (MA, et al, 2020).

As causas geralmente são agrupadas em categorias principais para identificar essas fontes de variação. As categorias normalmente incluem: 1) Pessoas: qualquer pessoa envolvida no processo; 2) Métodos: Como o processo é executado e os requisitos específicos para fazê-lo, como políticas, procedimentos, regras, regulamentos e leis; 3) Máquinas: Quaisquer equipamentos, computadores, ferramentas, etc. necessários para realizar o trabalho; 4) Materiais: Matérias-primas, peças, canetas, papel, etc. usados para produzir o produto final; 5) Medidas: Dados gerados a partir do processo que servem para avaliar sua qualidade; 6) Ambiente: as condições, como local, horário, temperatura e cultura em que o processo opera (MIAO, 2015).

CAPÍTULO 3: MODELO QUALITATIVO/QUANTITATIVO PARA IDENTIFICAR FALHAS

Este capítulo abordará o método FMEA/FMECA como uma ferramenta para auxiliar a tomada de decisão. Além disso, este capítulo está dividido em 6 seções, que inclui o contexto histórico do método, as principais definições acerca da ferramenta, o procedimento de implementação e um estudo de caso no âmbito de transportes.

3.1 Contexto histórico

O FMEA surgiu em decorrências das necessidades militares ao longo da segunda guerra mundial a fim de avaliar a confiabilidade dos sistemas e equipamentos utilizados para combate. Em 1949 nos Estados Unidos foi formulado um padrão para analisar as operações militares denominada de *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*. A partir da norma estabelecida foi possível identificar e classificar as possíveis falhas assim como seus impactos em relação às missões, segurança de pessoal e equipamentos e com isso adotar medidas para minimizar as ocorrências de falhas (SAKURADA, 2000).

Após a segunda guerra mundial, principalmente nos Estados Unidos, houve uma enorme ascensão das indústrias, dos meios de produção e do consumo de modo geral que proporcionou novas demandas e exigências de mercado. Com base nas novas exigências de mercado, os empresários foram forçados a aprimorar seus meios de produção a fim de garantir maior confiabilidade e qualidade do produto. Tendo em vista o sucesso do método empregado pelos militares durante a segunda guerra mundial, o FMEA foi amplamente incorporado nas indústrias automobilísticas em meados do século de 1970 com o propósito de identificar as falhas de produção dos veículos e com isso implementar medidas para aumentar a confiabilidade e qualidade ao consumidor final (SILVEIRA, 2017).

Em consonância com este contexto, a Organização Internacional de Padronização (ISO) se manifesta para estabelecer normas universais de padronização de qualidade dos produtos originários das indústrias. Em 1988 surge a ISO 9000 que garante a qualidade para design, desenvolvimento, produção, montagem e prestadores de serviço, sendo aplicada a organizações cujas atividades são voltadas à criação de novos produtos. De acordo com a ISO 9000, os fabricantes de automóveis devem utilizar o Planejamento de Qualidade de Produto Avançado (*Advanced Product Quality Planning* - APQP), incluindo FMEAs de projeto e de processo assim como desenvolver um Plano de Controle (SAKURADA, 2000).

3.2 FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)

A Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT), na norma NBR 5462 (1995), adota a sigla FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) para designar o método de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos. De acordo com as definições da norma adotada pelo Brasil, o FMEA é um método qualitativo de análise de confiabilidade que busca identificar os modos de falha de um sistema, serviço ou produto, assim como identificar os efeitos de cada falha (PARANHOS *et al.*, 2017).

Esta abordagem sistemática confronta e formaliza um mapa mental para o indivíduo que é imprescindível para qualquer processo de planejamento e gestão empresarial disciplina mental que um engenheiro passa em qualquer processo de planejamento de manufatura (OLIVEIRA; PAIVA; ALMEIDA, 2010).

Segundo Almeida *et al.* (2006) existem dois tipos aplicações para o método FMEA, sendo eles (1) FMEA de produto ou FMEA de projeto e (2) FMEA de processo. Na FMEA de produto, identificam-se cada componente do sistema e os possíveis modos de falha associados, bem como seus efeitos no sistema em questão e no produto como um todo. Além disso, a ferramenta FMEA de produto analisa e avalia as funções, materiais utilizados, componentes e tolerâncias. De outro modo, a ferramenta FMEA de processo é utilizada para a análise detalhada de sistemas produtivos que possam, ocasionalmente, afetar a confiabilidade

prevista no produto, identificando os modos de falhas potenciais no processo e seus efeitos no cliente (RATH, 2008). Esta análise auxilia também na identificação das variáveis de processo que devem ser controladas para priorizar as tomadas de ações preventivas ou corretivas (OLIVEIRA; PAIVA; ALMEIDA, 2010).

Como exemplo da aplicação, a Tabela 1 representa a ferramenta FMEA de produto aplicada em uma bomba de engrenagens em que foram definidos os componentes do produto (bomba de engrenagens), suas respectivas funções, os modos de falha e as possíveis causas. Para definir os modos de falha é pertinente que se coloque todas as possibilidades que incorram em algum tipo de falha, independentemente da probabilidade de ocorrência, sendo que as probabilidades de ocorrer determinada falha assim como o grau de severidade são analisados em uma etapa posterior (SAKURADA, 2000).

Componente	Funções	Modos de Falha	Causa
Eixo	Transmitir torque, rotação e suportar as engrenagens	Deformado Desalinhado Rompido Empenado	Erro de fabricação e erro de projeto
Mancais	Dar suporte aos eixos	Desgastado Deformado	Falha de lubrificação, uso excessivo
Engrenagens	Conduzir o fluido	Desgastado Rompido	Erros de montagens, pressão excessiva, erro de fabricação
Tampas	Auxiliar na condução de fluido, vedar	Desgastado Corroído	Nível excessivo de contaminantes, uso excessivo
Estator	Auxiliar na condução de fluido, vedar e dar suporte aos mancais	Desgastado	Nível excessivo de contaminantes, uso excessivo

Tabela 1: Aplicação do FMEA de produto
Fonte: Adaptado de (SAKURADA, 2000)

Com base nas análises feitas sobre os modos de falha e seus efeitos, são tomadas ações que posteriormente sofrerão uma reavaliação e documentação. O material gerado pelo FMEA tem como função servir como uma ferramenta para prognóstico de falhas e auxiliar o desenvolvimento e análise de projeto de produtos, processos ou serviços. O FMEA, por ser um registro, pode evitar que problemas passados venham a ocorrer novamente buscando a melhoria contínua, sendo um documento vivo, atualizado e representa as últimas

mudanças realizadas do processo em estudo (SAKURADA, 2000, SAFARI; FARAJI; MAJIDIAN, 2016).

3.3 FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*)

Além do FMEA, o FMECA, acrônimo para *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* e traduzido como Análise de Modos de Falhas, Efeitos e Criticidade, é utilizado como um método posterior a fim de acrescentar o elemento de ocorrência e severidade que pode ocorrer decorrente às falhas em análise.

Segundo os autores precursores do FMEA/FMECA Villacourt (1992), Kume (1996), Palady (1997), Stamatis (2003) a diferença entre FMEA e FMECA se destaca na presença de uma variável denominada Criticidade, conforme a Equação 1, sendo que a Criticidade é calculada com base na Ocorrência e Severidade dos modos de falhas, conforme a Equação 2.

$$FMECA = FMEA + C(Criticidade) \quad (1)$$

$$C(Criticidade) = O(Ocorrência) * S(Severidade) \quad (2)$$

Em suma, a Ocorrência está ligada diretamente com a probabilidade de cada possibilidade pertencente ao componente em estudo, enquanto que a Severidade relaciona a gravidade do modo de falha, isto é, se esta falha tem um impacto significativo ou irrelevante no sistema em estudo (CAVAIGNAC; FORTE, 2018).

Ao se tratar de modelos práticos em que há uma grande quantidade de modos de falhas para cada componente (produto, serviço ou sistema) faz-se necessário determinar prioridades para a tomada de decisão, tendo em vista limitações como recursos disponíveis e tempo. Para isso, é utilizado o cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR) com base no índice de Criticidade e Detecção, conforme a Equação 3. O índice Detecção se refere à eficiência do controle do modo de falha, ou seja, quanto mais difícil de detectar a falha maior será o índice Detecção (SANTOS *et al.*, 2019).

$$NPR = C(Criticidade) * D(Detecção) \quad (3)$$

Ao atribuir valores para cada índice é necessário levar em consideração a clareza e conhecimento acerca do sistema, processo ou produto em estudo. A Tabela 2 apresenta um resumo de como pode ser realizada essa atribuição, de modo a coadunar valores quantitativos às observações qualitativas. Os valores são atribuídos entre os valores de 1 a 10 para cada causa correspondente ao modo de falha, sendo possível que haja mais de uma causa para cada modo de falha (SAKURADA, 2000)

Modo de falha (Grau)	Ocorrência (probabilidade)	Probabilidade Detecção (%)	Severidade (Efeito da falha)	Pontuação
Remota	0	0-5	O cliente provavelmente não tomará conhecimento	1
Baixa	1/20000 a 1/10000	6-25	Leve aborrecimento	2-3
Moderada	1/2000 a 1/200	26-55	Insatisfação do cliente	4-6
Alta	1/100 a 1/20	56-75	Alto grau de insatisfação	7-8
Muito Alta	1/10 a 1/2	76-100	Atinge as normas de segurança	9-10

Tabela 2: Índices de Ocorrência, Severidade e Detecção
Fonte: Adaptado de Sakurada (2000)

Após atribuir os valores quantitativos de 1 a 10 para cada causa, é calculado o NPR. Com isso, os valores do NPR são agrupados em ordem decrescente a fim de analisar os maiores índices. Os índices com maiores valores representam as causas com maior potencial de risco para o produto, serviço ou sistema em estudo. Diante disso é possível estabelecer ações e medidas corretivas e preventivas para corrigir ou evitar as possíveis falhas. A próxima seção abordará todas as etapas para a implementação do método FMEA/FMECA.

3.4 Etapas para implementar o método FMEA/FMECA

O método FMEA/FMECA é dividido em 7 Etapas, sendo elas: (1) definição do sistema e dos componentes, (2) diagrama funcional e fluxograma do modelo, (3) funções dos componentes, (4) modos de falha de cada função, (5) análise das causas dos modos de falha, (6) cálculo do NPR (número de prioridade de risco) e (7) seleção das ações e medidas corretivas (SAKURADA, 2000), conforme a Figura 1.

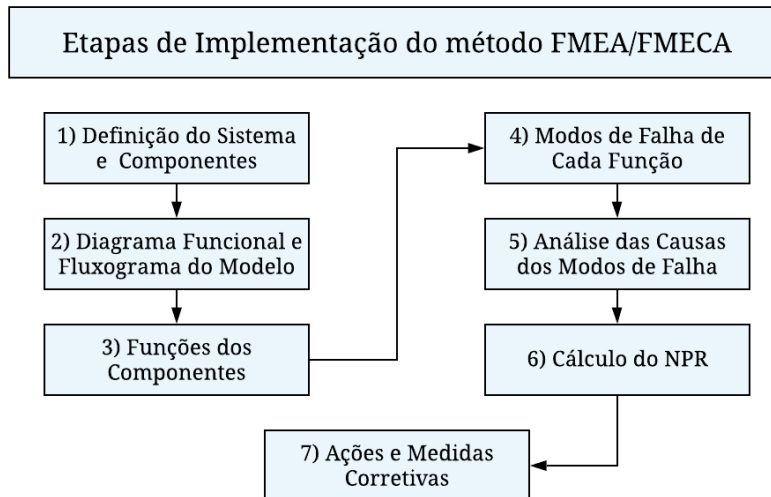


Figura 3: Etapas do método FMEA/FMECA

A Etapa 1 consiste em definir o sistema e os componentes em estudo, que pode ser realizada mediante uma lista acerca do assunto. O componente não necessariamente deve ser um produto, pode ser um tipo de serviço ou até mesmo um processo em análise. Ao se deparar com um estudo em que há muitos componentes, priorizam-se aqueles que ao falhar podem comprometer a função, segurança ou eficácia do sistema principal.

A Etapa 2 compreende na elaboração do diagrama funcional de blocos e fluxogramas é utilizada para demonstrar a interação entre as diferentes partes do sistema e com isso facilitar a observação e análise das funções e modos de falha de cada componente em estudo.

A Etapa 3 consiste em determinar as funções dos componentes. Esta etapa deve ser elaborada de modo minuciosa, pois, servem como referentes para a atribuição dos modos de falha. Além disso, caso as funções sejam altamente complexas recomenda-se realizar um estudo aprofundado acerca dos componentes com base em referencial bibliográfico ou entrevistas com especialistas.

A Etapa 4 se refere à elaboração dos modos de falha de cada função do produto, serviço ou sistema em análise. Os modos de falha são caracterizados como um estado anormal do sistema. Ao longo desta etapa faz-se necessário o questionamento de todas as possíveis maneiras de anomalias e erros que cada

função pode apresentar. Esta análise deve ser realizada sem levar em consideração a probabilidade de ocorrência, mesmo havendo uma mínima possibilidade é pertinente que se atribua o modo de falha para a função correspondente em estudo.

A Etapa 5 estabelece os efeitos e as causas dos modos de falha, que são elaboradas com base em escalas de risco. A escala de risco é utilizada posteriormente para o cálculo do NPR e se divide em cinco graus de ocorrência, sendo elas: (1) falha remota, (2) baixa, (3) moderada, (4) alta e (5) muito alta conforme apresentado na Tabela 2. Diante disso, são atribuídos aos índices (Ocorrência, Severidade e Detecção) valores de um a dez para cada causa correspondente ao modo de falha.

A Etapa 6 consiste em calcular o NPR (número de prioridade de risco) das causas com base nos valores obtidos da etapa anterior. Os valores obtidos servem como base para orientar a tomada de decisão e identificar as principais causas relacionadas aos modos de falhas que impactam de maneira expressiva o componente em estudo. Diante disso, as principais causas são separadas para aplicar ações e medidas corretivas.

Por fim, a Etapa 7 tem por objetivo, com base nas causas selecionadas da etapa anterior, apresentar ações e medidas para a tomada de decisão. Esta etapa deve ser realizada em conjunto com uma equipe ou grupo especializado no assunto a fim de assegurar que as decisões postas em debate sejam pertinentes e eficazes para solucionar as causas do sistema.

A próxima seção apresentará um estudo de caso utilizando o método FMEA/FMECA no setor de transportes a fim de demonstrar os conceitos, as etapas de implementação e os resultados que se espera obter com a ferramenta.

3.5 Estudo de caso com base no método FMEA/FMECA

Moretti e Bigatto (2016) aplicaram o método FMEA como uma ferramenta para tomada de decisão em uma empresa do setor de transporte de cargas. A motivação argumentada pelos autores, em usar o método FMEA, foi em

decorrência à elevada competitividade no setor de transportes rodoviário de cargas. Segundos os autores, em 2016, no Brasil, cerca de 47.588 empresas operam neste segmento, portanto, para se manter competitivo no mercado deve-se levar em consideração a melhoria contínua dos serviços prestados.

Moretti e Bigatto (2016) iniciaram a implementação do método FMEA por meio da delimitação do sistema, ou seja, o serviço de transporte de cargas realizado pela empresa em estudo. Em seguida, os autores, em conjunto com profissionais do setor, elaboraram quatro funções para o sistema em estudo, sendo elas: (1) entregar no prazo certo, (2) entregar no local certo, (3) entregar na quantidade certa e (4) entregar a mercadoria intacta. Além disso, para cada função foi estabelecido o modo de falha assim como o respectivo efeito que impacta o sistema de entrega de carga, conforme a Tabela 3.

Função	Modo de Falha	Efeito
Entregar no prazo certo	Atraso na entrega	Parada na linha de produção e perda de cliente
Entregar no local certo	Não entregar no local correto	Parada na linha de produção e perda de cliente
Entregar na quantidade certa	Entregar na quantidade errada	Parada na linha de produção e perda de cliente
Entregar a mercadoria intacta	Danificar a mercadoria	Prejuízos financeiros à transportadora assim como transtornos entre empresa-cliente

Tabela 3: Funções, modo de falha e efeitos do serviço de transporte de carga

Fonte: Adaptada de Moretti e Bigatto (2016)

Após definir as funções, modos de falha e feitos, os autores prosseguiram para a classificação dos índices (Ocorrência, Severidade e Detecção), cálculo do NPR e definição das causas referentes aos modos de falha em estudo. Estas etapas, que correspondem as etapas 5 e 6 mencionado ao longo da seção anterior, foram realizadas com base em sessões de *brainstorming* com profissionais do setor.

A tabela 4 resume a aplicação da ferramenta FMEA por Moretti e Bigatto (2016) no setor de transporte de carga. Com base nos valores do NPR, foi possível verificar que para a primeira função as causas com maiores urgências são acidentes e horários de picos, em que a principal medida adotada para contornar estes problemas foi avaliar rotas alternativas. Em relação a segunda e a terceira

função, não entregar no local correto e entregar a quantidade errada respectivamente, constatou-se a mesma causa para ambas funções, separação incorreta da mercadoria, sendo que a melhor medida para eliminar esse problema foi rever o método atual empregado para realizar tal atividade. Por fim, em relação a quarta função, danificar mercadoria, constatou-se que quatro causas apresentam o mesmo risco do modo de falha, sendo elas: vias inadequadas, imprudência, fuga e ações externas.

Modo de Falha	Causa	Ocorrência	Deteccão	Severidade	NPR (Causa)	Ação
Atraso na entrega	Imprudência	3	7	8	168	Treinamento/Conscientização
	Aspectos climáticos	5	3	8	120	Reprogramar entrega, procurar rotas alternativas, comunicação com o cliente
	Fuga	2	7	8	168	Sistemas de rastreamento/rádio/padroneização da frota
	Legislação	5	3	8	120	Atualização constante, procurar rotas e horários alternativos, comunicação com o cliente
	Acidentes	4	6	8	192	Avaliar possíveis rotas alternativas, comunicação com o cliente
	Horário de pico	6	4	8	192	Avaliar possíveis rotas alternativas, comunicação com o cliente
	Vias inadequadas	7	3	8	168	Procurar rotas alternativas
Não entregar no local correto	Separação incorreta	5	5	8	200	Rever método de separação
Entregar quantidade errada	Separação incorreta	5	5	8	200	Rever método de separação
Danificar mercadoria	Aspectos climáticos	5	3	8	120	Reprogramar entrega, procurar rotas alternativas, comunicação com o cliente
	Pico/excesso de serviço	6	3	8	144	Reprogramar entrega
	Vias inadequadas	7	3	8	168	Buscar rotas alternativas, monitorar as condições das estradas
	Imprudência	3	7	8	168	Treinamento/Conscientização
	Fuga	3	7	8	168	Buscar rotas alternativas
	Ação externa	3	7	8	168	Treinamento- direção defensiva

Tabela 4: Resumo da aplicação do método FMEA
Fonte: Adaptado de Moretti e Bigatto (2016).

Portanto, a ferramenta se provou bastante relevante para analisar o sistema de transporte de carga para o caso em estudo. Com isso, foi possível identificar que os modos de falha da segunda e terceira função apresentam maiores riscos ao serviço prestado. Várias ações foram elaboradas pelos autores, corroborando assim para auxiliar a tomada de decisão dos gestores da empresa.

CAPÍTULO 4: MODELOS COMPUTACIONAIS PARA IDENTIFICAR FALHAS

Ao longo do Capítulo 4 será abordado o conceito de anomalia de dados, seus fundamentos e aplicações. Além disso, será apresentado alguns métodos de busca por anomalias e suas respectivas características.

4.1 Anomalia de dados

Anomalias de dados têm sido amplamente estudado, em decorrência do advento da globalização, expansão da internet e integração dos sistemas de tecnologia e informação, pois, podem representar ineficiência de determinados sistemas ou até mesmo interpretações errôneas acerca dos fatos (MOUSSAS, 2018). Segundo DEMERTZIS *et al* (2019) anomalia de dados são dados no qual apresentam comportamento distinto quando comparado ao seu grupo. De outro modo, uma anomalia nada mais é que uma situação fora de um padrão pré-determinado.

A detecção de anomalia em dados é usualmente aplicada em situações como detecção de fraude, vigilância, diagnósticos medicinais, sistemas bancários, manutenção preventiva e organização/limpeza de *Big Datas* e também nas áreas de engenharia (DEMERTZIS *et al.*, 2019).

Além disso, a detecção de anomalia de dados pode ser classificada em três tipos, sendo eles: (1) Anomalias de pontos, em que um determinado dado é observado como “ponto fora da curva” como por exemplo uma grande transação bancária em um determinado dia fora do padrão convencional do usuário pode ser detectado como anomalia de dados; (2) anomalia contextual, quando um determinado dado é observado em um momento específico não usual, isto é, caso fosse observado um pico de fluxo de carros na madrugada, este seria considerado como anomalia; (3) anomalias coletivas, quando um conjunto de dados não correspondem como o padrão do histórico de dados. Ou seja, quando um evento inesperado ocorre ou valores inesperados são combinados no mesmo evento como por exemplo a compra de uma grande quantidade de produtos extremamente caros (GREENSMITH *et al.*, 2010).

Diante disso, ao longo desta seção será apresentado alguns métodos de busca

4.2. Método Cluster

O método *Cluster Only*, ou agrupamentos, é baseado no conceito de anomalias coletivas, cujo principal objetivo é agrupar os dados observados em padrões de comportamentos comuns, como por exemplo os picos e entre picos de veículos, temperatura e afins que são comumente observados ao longo do dia. Diante disso, os dados observados que se encontram distantes deste agrupamento são considerados pontos de anomalias (OZTURK *et al.*, 2015, ANSHELEVICH; SEKAR, 2016). A Figura 4a demonstra os agrupamentos gerados pelos padrões de comportamento, enquanto que a Figura 4b destaca as anomalias do sistema em estudo.

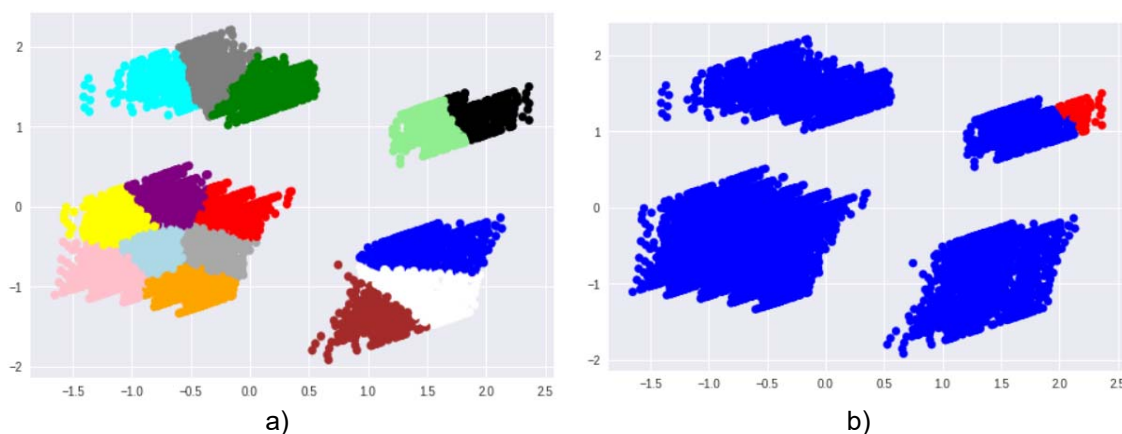


Figura 4: Método de agrupamento de dados
Fonte: Adaptado de Ambonati (2017).

4.3 Método Gaussian

O método *Gaussian*, ou eliminação de Gauss, é utilizado com base nos conceitos de dados contextuais e dados coletivos, em que as anomalias são definidas por categorias, isto é, supõem-se que as anomalias são reconhecidas e que desta forma são, manualmente, codificadas no algoritmo (HEIDARI *et al.*, 2017). Diante das categorias é possível visualizar se há tais ocorrências ou não com base no histórico de dados em análise. A Figura 5 demonstra um exemplo da aplicação do método *Gaussian* em que as categorias foram divididas por período de tempo (Dia, noite, fim do dia e fim da noite). Verifica-se que as anomalias são observadas nas extremidades de todas as categorias, ou seja, quando a temperatura do meio ambiente é máxima e mínima. Além disso, a maior

quantidade de anomalias observadas foi no período do fim do dia para auferir a temperatura máxima (AMBONATI, 2017).

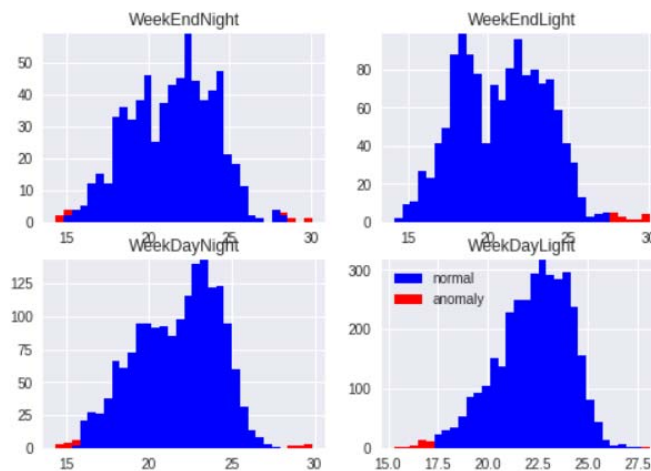


Figura 5: Método Gaussian
Fonte: Adaptado de Ambonati (2017)

4.3 Método Markov Chain

O método *Markov Chain*, ou cadeia de *Markov*, é baseada no conceito de anomalia de pontos, cujo princípio de resolução para o algoritmo se baseia em calcular a probabilidade de ocorrência de uma determinada sequência ou evento. Para isso, é necessário definir estados para a cadeia de *Markov*, isto é, definir valores para estabelecer diferentes níveis de dados, como por exemplo: muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto. Desta forma, se a probabilidade for muito fraca então o algoritmo considera o evento como uma anomalia (LEVIN; PERES, 2017, BLANCHET *et al.*, 2016).

4.4 Método Isolation Forest

O método *Isolation Forest*, ou floresta de isolamento, funciona com o princípio de isolar anomalias em que se resume a construir uma árvore de caminho por meio do isolando conjuntos de dados, isto é, um conjunto de dados é aleatoriamente selecionado e submetido a um processo de divisão por um divisor qualquer até um critério de parada. Diante disso, os dados com anomalias são considerados aqueles que apresentam o menor comprimento de caminho da árvore construída. Além disso, este método apresenta excelente desempenho para dados demasiadamente diversificado e de alta dimensão (LIU *et al.*, 2008, KAREV *et al.*, 2017, BENCHIMOL; PERES, 2015).

4.5 Método One Class

O método *One Class SVM*, ou máquina de vetores e suporte, é baseado em classificação de dados e análise de regressão. A lógica por trás deste método é a obtenção de uma linha de separação entre os conjuntos de dados observados, cujo objetivo é identificar os pontos que estão fora do limite da linha que são considerados como anomalias do sistema. Neste sentido, este método é bastante utilizado para detecção de dados novos, ou seja, dados que não apresentam informações relevantes a seu respeito. Além disso, o *One Class SVM* apresenta bom desempenho para análise de sistemas de transporte multimodais (GUERBAI *et al.*, 2015, ERFANI *et al.*, 2016).

4.6 Método Recurrent Neural Network

O método *Recurrent Neural Network* (RNN), ou rede neural recorrente, é uma classe de redes neurais artificiais em que as conexões entre os nós formam um gráfico direcionado ao longo de uma sequência temporal. A RNN aprende a reconhecer a sequência nos dados e, em seguida, faz a previsão com base na sequência anterior. Consideramos uma anomalia quando os próximos pontos de dados estão distantes da previsão da RNN. A agregação, o tamanho da sequência e o tamanho da previsão para anomalia são parâmetros importantes para uma detecção relevante, em que se recomenda o uso de uma sequência de 50 valores anteriores para prever o próximo valor futuro (TANG *et al.*, 2015, GREGOR *et al.*, 2015).

A Tabela 5 apresenta o resumo dos métodos derivados de algoritmos. Diante das variações descritas, verifica-se que o método *Cluster Only* é o que melhor convém para o estudo sobre detecção de anomalias dos dados provenientes do registro de dados de equipamentos de fiscalização eletrônica, visto que os dados são não ordenados e que a detecção é feita quando há discrepância na observação de tais dados. Ou seja, é mais fácil identificar os padrões de comportamento do fluxo de veículos quando separados por grupos, por exemplo um grupo de dados representará o comportamento dos veículos no horário de pico, outros entre pico e outros em situações adversas e etc. Embora o cluster only seja o melhor dentre os métodos computacionais destacado, ele não será

usado para o desenvolvimento deste trabalho em decorrência da complexidade em programação.

	Descrição	Pontos positivos	Detecção de Anomalias
Cluster Only	Agrupamento com base em semelhança de comportamento	Grupos de dados não ordenados	Pontos distante dos grupos
Gaussian	Categorias pré-definidas	Dados separados por categorias	Pontos distante de cada categoria
Markov Chain	Probabilidade de ocorrência de eventos	Dados discretos (inteiros)	Eventos com baixa probabilidade
Isolation Forest	Construção de árvore de caminho	Grande volume de dados	Menor comprimento de caminho
One Class SVM	Determinar linhas de separação dos conjuntos	Dados multimodais	Pontos fora da linha de separação
RNN	Previsão de comportamento futuro com dados anteriores	Dados ordenados	Pontos distante do valor previsto

Tabela 5: Resumo das variações do algoritmo DSNA

CAPÍTULO 5: PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Ao longo deste capítulo será abordada a metodologia empregada para o desenvolvimento da dissertação. Este capítulo inclui os procedimentos e técnicas de pesquisa adotadas, assim como as ferramentas que darão suporte à conclusão do trabalho.

A Figura 6 resume as quatro Etapas metodológicas utilizadas ao longo da dissertação, sendo elas: (1) Revisão Bibliográfica, (2) Elaboração e Aplicação do Questionário, (3) Elaboração e Implementação do FMEA/FMECA e (4) Análise dos Resultados.

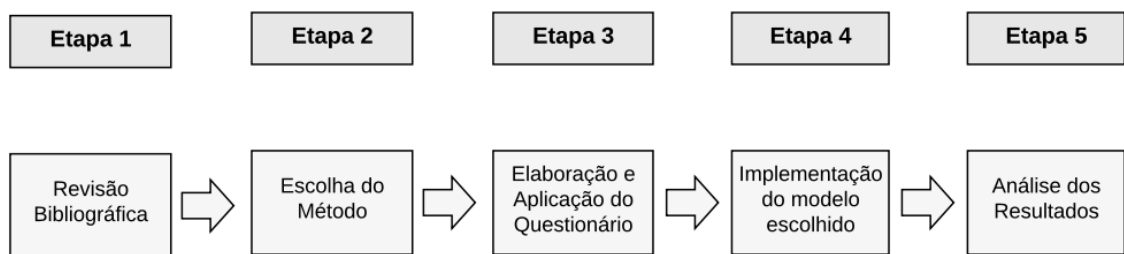


Figura 6: Procedimento metodológico

5.1 Etapa 1: Revisão Bibliográfica

A Etapa 1 se resume em realizar uma ampla revisão bibliográfica acerca do sistema de transporte, sobre o FMEA/FMECA e sua aplicação no âmbito da engenharia de transporte. Para isso, a pesquisa teve como base as plataformas Google Acadêmico, *Elsevier* e Portal CAPES sendo as principais palavras-chave utilizadas ao longo da pesquisa: sistema de transporte, ferramentas para tomada de decisão, planejamento inteligente de transporte, sistema de coleta de informação, tipos de falha em sistema de transporte, modelos FMEA/FMECA aplicado no sistema de transportes.

Além disso, ao longo da pesquisa foi priorizado conceitos e trabalhos atualizados com base em periódicos e artigos, preferencialmente, internacionais e com relevância no meio acadêmico. Com isso, a revisão bibliográfica apresentada ao longo deste trabalho colabora de modo positivo para o meio acadêmico. A próxima etapa, acerca da elaboração e aplicação do questionário para obtenção das informações necessárias para a implementação do modelo FMEA/FMECA, será abordada no próximo tópico.

5.2 Escolha do Método

A escolha do método foi baseada em cinco critérios de acordo com Vieira *et al* (2015), no qual um modelo de identificação de falhas de um sistema deve levar em consideração: 1) simplicidade do modelo, 2) facilidade de implementação e 3) impacto no dia-a-dia da organização e 4) visibilidade da equipe e 5) recursos para implementação.

Após definir os critérios objetivos a serem observados nos modelos de tomada de decisão, foi realizado uma vasta pesquisa bibliográfica acerca de métodos qualitativos, quantitativos e métodos computacionais. Dentre os métodos pesquisados, destacaram-se dois métodos qualitativos e um método qualitativo/quantitativo, sendo eles: modelo EAP, modelo de Ishikawa e um modelo misto, modelo FMEA/FMECA, no qual visa agregar uma análise quantitativa aos modelos qualitativos. Além destes foi estudado 6 modelos computacionais no qual foram descritos no Capítulo 4 deste trabalho.

A tabela 6 resume todos os modelos em estudo assim como seus respectivos critérios. Observou-se que o modelo FMEA/FMECA se destaca frente aos demais modelos visto que é de fácil implementação, baixo recurso e tem impacto imediato na sua implementação.

	Quantitativo	Qualitativo		Computacionais					
	FMEA/FMECA	EAP	Ishikawa	Clus-ter	Gauss-ian	Markov Chain	Isolation Forest	One Class	Neu-ral
Simplicidade	Alto	Moderado	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Facilidade	Alto	Moderado	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Impacto	Alto	Moderado	Moderado	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Visibilidade	Alto	Alto	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Recursos	Baixo	Moderado	Baixo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

Tabela 6:Resumo dos modelos de identificação de falhas em sistemas

5.3 Etapa 2: Elaboração e Aplicação do Questionário

A Etapa 2, subsequente, foi dividida em duas partes sendo elas: (1) elaboração do questionário e (2) aplicação do questionário, que serão elaboradas em conjunto tendo em vista uma relação de dependência uma com a outra. Ambas as partes se basearam nas informações obtidas por meio da revisão bibliográfica e dos colaboradores da empresa em estudo.

A fim de elaborar o questionário, foi necessário delimitar o ambiente de estudo a fim de identificar com maior clareza os principais pontos a serem destacados no modelo FMEA/FMECA. A delimitação do ambiente de estudo tem como objeto alvo da pesquisa os equipamentos de fiscalização utilizados pela empresa, os padrões de funcionamento, localização e principais problemas encontrados em relação ao sistema de fiscalização. Desta forma, com base na literatura foi possível identificar os principais modos de falhas de acordo com ambiente de estudo que foi previamente delimitado.

A Tabela 7 exemplifica a delimitação do estudo para a elaboração do questionário. Ou seja, acerca dos equipamentos de fiscalização, foram elaboradas perguntas pertinentes aos tipos de falhas de acordo com o uso correto dos equipamentos, por exemplo, se há ocorrência de falhas devido à falta

de manutenção preventiva e qual o peso relativo para este tipo de falha. Em relação aos padrões de funcionamento foi questionado o impacto do ambiente externo ao equipamento de fiscalização, por exemplo, se há ocorrências de falhas em virtude de tempo muito chuvoso ou tempo muito ensolarado. Por fim, em relação ao sistema de fiscalização foi questionado sobre a eficiência do sistema, por exemplo, se há ocorrências de falhas em decorrência de sobreposição de dados, perdas de dados e dentre outros.

Delimitação do Estudo	Modos de Falha	Peso Relativo
Equipamentos	Em relação ao seu uso correto	X
Padrões de Funcionamento	Impacto do ambiente externo	Y
Sistema de Fiscalização	Eficiência do sistema	Z

Tabela 7: Delimitação do estudo

Após a delimitação do estudo, foi feita uma pesquisa bibliográfica acerca dos possíveis modos de falhas no âmbito da engenharia de transportes. Para a realização desta pesquisa os modos de falhas foram divididos em três grupos específicos de modos de falhas, o primeiro acerca dos equipamentos, o segundo sobre os padrões de funcionamento e o terceiro sobre o sistema de fiscalização. Em seguida, para cada grupo definido foram elaborados 5 modos de falhas para cada grupo, resultado no total em 15 modos de falhas para a aplicação do questionário.

Após a elaboração do questionário, que se encontra em Anexo, foi feita uma reunião com o diretor de operação da CET-RIO a fim de responder o questionário. Ao longo da entrevista 15 perguntas foram feitas ao entrevistado, que se encontra em Anexo, a fim de obter duas respostas, a primeira é se se todos os modos de falhas destacado no questionário já foi observado em alguma circunstância e a segunda é qual seria o grau de ocorrência, criticidade e severidade observado para cada um desses modos de falhas, em que 10 implica em urgente e 1 implica em irrelevante.

A partir das respostas do diretor foi possível relatar todos os possíveis modos de falhas que ocorrem no ambiente em estudo assim como seus pesos relativos. A implementação do modelo FMEA/FMECA será abordado no próximo tópico.

5.4 Etapa 4: Implementação do Modelo

Após a aplicação do questionário, prossegue-se para a Etapa 4 a fim de aplicar o método FMEA/FMECA. Conforme já mencionado no Capítulo 2, o método FMEA consiste em determinar as funções do sistema em estudo, os modos de falha e as possíveis causas relacionadas aos modos de falha, enquanto que o FMECA busca aplicar a criticidade do modo de falha, ou seja, a probabilidade de risco ao sistema para cada causa e com isso propor medidas e ações que visam auxiliar a tomada de decisão e solucionar os problemas. De acordo com a Figura 1, a implementação do FMEA/FMECA se baseia em 7 etapas, sendo elas: (1) definição do sistema de e componentes, (2) diagrama funcional e fluxograma do modelo, (3) funções dos componentes, (4) modos de falha de cada função, (5) análise das causas dos modos de falha, (6) cálculo do NPR e (7) ações e medidas corretivas.

As etapas de 1 a 4 foram realizadas com base no tópico anterior, em que foi elaborado o questionário. A etapa 5 consiste em determinar como os modos de falha ocorrem e para isso é necessário discorrer sobre alguns tipos de falhas importante observados no ambiente em estudo. Diante disso, verifica-se que alguns equipamentos apresentam comportamentos distintos, conforme a Figura 3. Levando em consideração cerca de 800 equipamentos sob responsabilidade da empresa, conforme já discuto no Capítulo 1, e que realizar manutenção em todos equipamentos seja demasiadamente dispendioso, busca-se identificar o motivo pelo qual os equipamentos não estão funcionando da maneira correta com base em dados históricos e propor medidas corretivas para auxiliar a tomada de decisão.

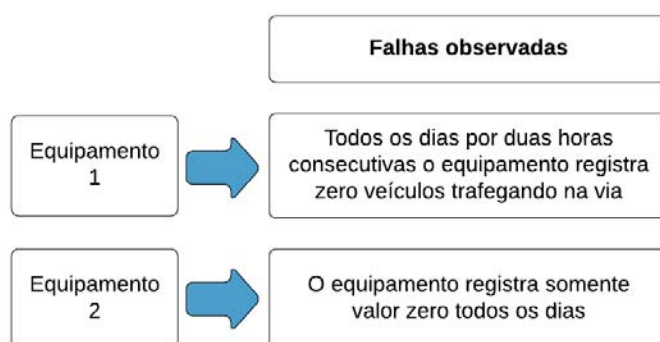


Figura 7: Padrão de comportamento dos equipamentos

A partir da Figura 7 traz dois tipos de equipamentos, o equipamento 1 que apresenta falhas em um momento específico do dia, com valores nulos subsequente ao longo de algumas horas e o equipamento 2 com a presença de valores nulos ao longo de todo o dia. Verifica-se que a falha do equipamento 1 pode ser em decorrência da posição do sol em determinado horário, tempo nublado ou algo que afete a captura de dados do equipamento, enquanto que para o equipamento 2 fica evidente a presença de uma falha total do equipamento, já que não consta nenhuma coleta de dados sobre o fluxo de veículos. Embora os dois padrões de comportamentos apresentados sejam comuns à observação da empresa, existem outros padrões que não são triviais e fáceis de encontrar.

Neste mesmo contexto, a implementação do modelo FMEA/FMECA busca abordar os padrões de comportamentos não triviais e propor medidas corretivas. O método FMEA quando aplicado em sistemas que seja possível a “observação das causas” se torna mais simples, isto é, ao analisar o estudo de caso conforme mencionado no Capítulo 2, é evidente que uma das causas para o problema de atraso na entrega seja acidentes, horário de pico e outros.

Contudo, este aspecto é totalmente diferente ao analisar o presente estudo em que o principal objetivo é identificar a quantidade máxima de falhas provenientes do sistema de fiscalização eletrônica. Para isso, foi utilizado o questionário para extrair o máximo de informação acerca dos modos de falhas com base na experiência dos colaboradores, que estão diariamente em contato com todos os tipos de problemas que surgem na CET-RIO.

Após extraído todas as informações pertinentes ao ambiente de estudo e identificado as causas dos modos de falhas, foi realizado o cálculo NPR, etapa 6, que consiste em utilizar os pesos relativos obtidos a partir do questionário para calcular o indicador. A fórmula do cálculo deste indicador está descrita com maiores detalhes na seção 2.3. Por fim, a etapa 7 da implementação do modelo FMEA/FMECA consiste em identificar os modos de falhas com maiores pesos

relativos (NPR) e aplicar medidas corretivas a fim de minimizar os impactos negativos.

5.5 Etapa 5: Resultados

Por fim, a Etapa 4 consiste em propor medidas e ações corretivas a fim de auxiliar a tomada de decisão dos gestores da empresa em estudo.

Busca-se, a partir da aplicação do modelo FMEA/FMECA, evidenciar as possíveis falhas do sistema de fiscalização da CET-RIO. Além disso, busca-se também relatar o nível de impacto e comprometimento que essas falhas provocam no sistema operacional da empresa CET-RIO.

Espera-se que o objetivo principal da pesquisa seja cumprido, conforme já mencionado no Capítulo 1, em que se busca identificar as falhas proveniente dos equipamentos de fiscalização de fluxo de veículos por meio da implementação do modelo FMEA/FMECA. Diante disso, o presente trabalho contribui tanto para a esfera prática quanto para a esfera acadêmica. A contribuição acadêmica, além de contribuir para a revisão bibliográfica e disseminação de conhecimento no âmbito da engenharia de transporte, se dá em virtude da aplicação de métodos e ferramentas para auxiliar a tomada de decisão no âmbito da engenharia de transportes. Para a contribuição prática, verifica-se que o trabalho corrobora com as medidas preventivas e corretivas obtidas a partir das ferramentas utilizadas, auxiliando assim a tomada de decisão dos gestores da empresa da CET-RIO. Além disso, o presente trabalho contribui para uma análise socioeconômica do potencial impacto em decorrência das falhas ocorridas no sistema de fiscalização eletrônico.

Diante disso, levando em consideração a grande quantidade de dados processados pela CET-RIO, os erros refletem em custos adicionais de processamento, tratamento e armazenamento da informação, ou seja, caso os dados com falhas fossem identificados de imediato, seria possível eliminá-los antes de serem inseridos no banco de dados da empresa e com isso reduzir significativamente o custo operacional do sistema. Portanto, as medidas corretivas propostas neste trabalho serve como ponto de partida para que

modelos mais complexos possam ser desenvolvidos a fim de otimizar da melhor maneira possível o sistema de processamento de dados da uma empresa que trabalha com registro, armazenamento, tratamento e processamento de informações de fluxo de veículos em grande escala.

CAPÍTULO 6: IMPLEMENTAÇÃO MODELO FMEA/FMECA

Ao longo deste capítulo será abordado com detalhes o passo a passo para a implementação do modelo FMEA/FMECA, o que inclui a identificação dos modos de falhas e suas respectivas causas assim como o cálculo do NPR (indicador baseado na ocorrência, criticidade e severidade da falha ao ambiente em estudo) e as possíveis ações preventiva para cada modo de falha. Este capítulo está dividido em duas seções, ao qual a primeira abordará todos os modos de falhas e as respectivas causas de acordo com a literatura e a segunda seção apresentará o quadro FMEA/FMECA completo com o cálculo do indicador e as possíveis ações corretivas.

6.1 Modos de Falhas

Conforme já mencionado na seção 2.2, os modos de falhas foram delimitados em três tipos, sendo eles: (1) falhas acerca dos equipamentos de fiscalização, (2) falhas acerca dos padrões de funcionamento do equipamento e (3) falhas acerca do sistema de fiscalização. A partir dos três modos de falhas estabelecido, 15 causas foram observadas com base na literatura para.

Acerca das falhas dos equipamentos de fiscalização, a falta de manutenção preventiva é recorrente, visto que o custo de realizar a manutenção pode ser mais dispendioso do que a própria substituição do equipamento (VILLANUEVA, 2015). Tendo em vista que a CET-RIO detêm cerca de 800 equipamentos espalhados pelo Rio de Janeiro, seria necessário um alto custo para planejar e executar manutenções preventivas em todos os equipamentos. O vandalismo pode ser considerado como uma possível causa para o problema em questão, principalmente tendo em vista o alto nível de criminalidade do Rio de Janeiro.

Segundo ALBUQUERQUE (2007), a instalação inadequada pode causar sérios problemas ao sistema de fiscalização, além de incorrer custos adicionais para a empresa e diminuição da eficiência do sistema de fiscalização eletrônica. A falta de recursos para desempenhar atividades no sistema de transporte tem impactos significativos na eficiência do sistema, além disso, impactos negativos são vistos no ambiente do trabalho, onde há uma tendência em haver

desmotivação do quadro de pessoal para desempenhas as atividades da maneira correta (SCARINGELLA, 2001).

A qualidade de um determinado produto deve ser avaliada minuciosamente pela empresa antes da tomada de decisão, visto que há um *trade-off* entre custo e serviço prestado, ou seja, quanto maior o nível de serviço prestado pela empresa, maior será o custo operacional e, portanto, menor será sua lucratividade. Portanto, um ponto ótimo deve ser estabelecido entre custo e nível de serviço para alcançar um nível de qualidade adequado para satisfazer os clientes da melhor maneira possível (CAMPOS, 2014).

6.2 Quadro FMEA/FMECA

A Tabela 8 resume a aplicação do modelo FMEA/FMECA em que a partir de três modos de falhas foi possível observar 15 causas e seus respectivos indicadores para o cálculo do NPR. O questionário, que se apresenta em Anexo, foi aplicado em conjunto com um funcionário da CET-Rio para obter as informações observadas no dia-a-dia da empresa, desta forma, a implementação do FMEA/FMECA se torna mais relevante já que abordará as possíveis falhas reais.

Acerca dos Equipamentos			
Falhas	Ocorrência	Criticidade	Severidade
Falta de manutenção preventiva			
Vandalismo			
Instalação inadequada			
Falta de recursos			
Qualidade do equipamento			
Acerca dos Padrões de Funcionamento			
Falhas	Ocorrência	Criticidade	Severidade
Tempo ensolarado			
Tempo chuvoso			
Campo de visão do equipamento			
Falta de capacidade de registro			
Falta de um protocolo			
Acerca dos Sistema de Fiscalização			
Falhas	Ocorrência	Criticidade	Severidade
Dados duplicados			
Dados nulos			
Dados corrompidos			

Falta de armazenamento do sistema			
Falta de atualização do sistema			

Tabela 8: Quadro resumo do modelo FMEA/FMECA

O primeiro modo de falha se refere às falhas decorrente dos próprios equipamentos de fiscalização eletrônica. Ou seja, neste modo de falha foi observado principalmente as falhas físicas que podem ocorrer em diversos cenários, tais como: 1) falta de manutenção preventiva que irá corroborar para o mau funcionamento do equipamento e por ventura a quebra do equipamento; 2) vandalismo visto que o Rio de Janeiro é uma cidade com alto índice de criminalidade, isto pode ocorrer com certa frequência, 3) Instalação inadequada que pode provocar má funcionamento do equipamento levando-o a falhas ocasionais, 4) Falta de recursos para instalar os equipamentos com o devido protocolo correto, isto é, falta de mão-de-obra, falta de equipamentos de suporte para instalação ou até mesmo falta de verba que resultaria na instalação inadequada e 5) Qualidade do material utilizado nos equipamentos de fiscalização, ou seja, se o material utilizado apresenta uma vida útil que satisfaça a relação custo-benefício ou se apresenta problemas com uma frequência maior em virtude do material utilizado.

O segundo modo de falha se refere às falhas acerca dos padrões de funcionamento dos equipamentos de fiscalização eletrônica, isto é, observa-se neste caso quais são os eventos externos que podem influenciar o mau funcionamento dos equipamentos. Diante disso, foram classificadas 5 possíveis falhas para esta categoria, sendo elas: 1) Influência do tempo chuvoso diante do registro dos dados dos equipamentos, isto é, se os dados são coletados de maneira adequada ou se há discrepância ou falhas no registro quando há muita chuva, 2) Influência do tempo ensolarado, visto que os raios solares podem impactar as lentes dos equipamentos, fazendo com que o registro não seja coletado da maneira correta, provocando assim erros no registro das informações do fluxo de veículos daquela determinada via. 3) Falta de campo de visão do equipamento. Os equipamentos de fiscalização têm um campo limitado de atuação para identificar e registrar o fluxo de veículos naquela determinada via, diante disso, esta falta de campo de visão, ou pontos cegos, interferem de modo a prejudicar a coleta de dados, 4) Capacidade de registro dos dados coletados. Ou seja, há perdas nos dados coletados por insuficiência de

armazenamento do sistema de fiscalização eletrônica e 5) Falta de protocolos a serem seguidos para assegurar o bom padrão de funcionamento dos equipamentos.

Por fim, o terceiro modo de falha se refere às falhas acerca do sistema de fiscalização, ou seja, esta categoria aborda a parte de transmissão dos dados e armazenamento correto das informações assim como o compartilhamento dessas informações entre a CET-Rio e as demais empresas prestadoras de serviços. Dentre esta categoria observa-se 5 potenciais falhas, dentre elas: 1) Dados duplicados em virtude de um sistema de coleta de informações ineficaz, 2) Dados nulos decorrente de falhas no momento de registro do fluxo de veículos ou até mesmo falhas que ocorrem após a coleta de dados e que dão origem aos dados nulos nos registros, 3) Dados corrompidos, de modo análogo ao anterior, a falta de um sistema de armazenamento adequado pode acarretar em dados corrompidos, principalmente quando usado versões diferentes de programas como o *excel*, 4) Falta de armazenamento. A falta de armazenamento é um tipo de falha bastante interessante neste caso, pois a CET-Rio registra dados na casa de *Terabytes*, e para isso é necessário um sistema de armazenamento robusto, caso contrário pode haver sérias perdas ou acarretar em ineficiência na gestão dos dados para apresentar relatórios de performance e 5) Falta de atualização do sistema.

O questionário foi elaborado a partir de 3 modos de falhas, com base na pesquisa bibliográfica, sendo que cada modo de falha apresenta 5 possíveis causas, totalizando 15 possíveis falhas.

Ao longo da entrevista, feita via *web*, as 15 possíveis falhas foram respondidas com base em notas de 0 a 10 a partir de 3 critérios do FMEA/FMECA, sendo elas: 1) Ocorrência, que está vinculado a probabilidade (0 para nunca ocorreu e 10 para ocorre todos os dias) de determinada falha ocorrer, 2) Criticidade da falha, isto é, o grau de importância para resolver o problema (0 para irrelevante e 10 para muito urgente). Por exemplo se foi detectado uma instalação inadequada e dados nulos no mesmo dia, qual dessas falhas deve ser resolvida primeiro e 3) Severidade. A diferença entre criticidade e severidade é que a criticidade está vinculada a qual falha deve ser resolvida primeiro, enquanto a

severidade implica em quão danoso esta falha é para o dia-a-dia (0 para pouco prejudicial e 10 para muito prejudicial). A partir das informações sobre ocorrência, criticidade e severidade foi possível identificar as principais falhas para cada uma das três categorias abordadas, este resultado será abordado ao longo da próxima seção.

CAPÍTULO 7: ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a coleta dos dados com base no questionário em Anexo foi possível implementar o modelo FMEA/FMECA que se resume na Tabela 9. Verifica-se que a falta de manutenção preventiva foi considerada a mais preocupante para o modo de falha acerca dos equipamentos, neste mesmo sentido, a capacidade de registro foi identificada como causa principal do modo de falha acerca dos padrões de funcionamento e por fim os dados duplicados foram considerados como a principal causa para o modo de falha acerca do sistema de fiscalização.

Modo de Falha	Causa	Ocorrência	Criticidade	Severidade	NPR (Causa)	Ação
Acerca dos Equipamentos	Falta de Manutenção Preventiva	7	8	9	504	Programa estruturado de manutenção
	Vandalismo	5	6	4	120	Fiscalização
	Instalação Inadequada	6	7	6	252	Protocolos de <i>check-list</i>
	Falta de Recursos	7	8	6	336	Comunicação e apresentação de propostas
	Qualidade do Material	4	6	8	192	Seleção de fornecedores qualificados
Acerca dos Padrões de Funcionamento	Tempo chuvoso	8	6	6	288	Cobrir parte do equipamento para minimizar impacto da chuva
	Tempo Ensolarado	8	6	6	288	Ângulo do equipamento para que o sol não interfira
	Falta de Campo de Visão do Equipamento	5	6	8	240	Melhor posicionamento do equipamento
	Capacidade de Registro	8	7	8	448	Alterar o sistema de registro
	Falta de Protocolo	6	5	4	120	Equipes de planejamento orientada para elaboração de protocolos
Acerca do Sistema de Fiscalização	Dados Duplicados	8	9	7	504	Filtros para detectar dados duplicados

	Dados nulos	7	8	7	392	Sistemas de detecção de anomalias de dados
	Dados Corrompidos	6	5	6	180	Aprimoramento do sistema de armazenamento de dados
	Falta de Armazenamento	5	7	6	210	Aprimoramento do sistema de armazenamento de dados
	Falta de Atualização do Sistema	6	5	4	120	Planejamento adequado para manter o sistema atualizado

Tabela 9: Quadro FMEA/FMECA

A manutenção preventiva é uma atividade realizada regularmente em intervalos pré-selecionados (mas não necessariamente idênticos) a fim de reduzir ou eliminar o prejuízo provocado pelo custo da capacidade ociosa do sistema. O custo da capacidade ociosa de um sistema é definido pelos encargos fixos em que não são possíveis reduzir a medida que a capacidade do sistema diminui (SIM; ENDRENYI, 1988).

Digamos que a capacidade máxima dos trabalhadores seja de 100 unidades para um custo (salário) de 1000 reais por trabalhador, temos então um custo de 10 reais por unidade. Porém, se esta capacidade é reduzida em 50%, ou seja, 50 unidades, teremos o dobro do custo, 20 reais por unidades. Esta diferença entre o custo a partir da capacidade máxima e a capacidade real é dita como o custo da capacidade ociosa.

Desta forma, a falta de manutenção preventiva implica em ineficiência no trabalho, já que o custo da capacidade ociosa aumenta bastante. Além disso, o custo da capacidade ociosa é difícil de ser mensurado, pois, é um custo imperceptível no dia-a-dia, já que não é contabilizado de maneira metódica e sistemática. Em resumo, diferente dos custos como despesas com salários, impostos, conta de água, energia e aluguel em que são contabilizados todos os meses e apresentados em relatórios de desempenho, os custos derivado da ineficiência por causa da falta de manutenção preventiva não são contabilizados o que dificulta até mesmo o processo de autoaprendizado em uma organização. Vale resltar também que estamos diante de uma empresa do setor público, ou

seja, a ineficiência incorrida no setor público é mais prejudicial do que no setor privado visto que os encargos e despesas são pagos com impostos. Sendo assim, o aumento na eficiência das empresas públicas é algo mais do que necessário tendo em vista que ao aumentar a eficiência, os impostos dos trabalhadores serão usados de maneira correta e sem desperdício.

Portanto, a fim de eliminar o máximo a falta de manutenção preventiva, deve-se realizar um programa estruturado de manutenção e ser seguido metodicamente. Além disso, caso ocorra algum imprevisto, deve-se contabilizar o custo adicional incorrido devido a ineficiência para que no longo prazo a empresa consiga acompanhar seu desempenho.

Acerca dos padrões de funcionamento do sistema de fiscalização, observa-se que a falta de capacidade de registro dos dados foi o fator primário para a causa deste modo de falha. Sendo assim, a melhor alternativa para eliminar a causa deste problema é a opção por serviços de armazenamento de dados em nuvens. A computação em nuvem significa que as nuvens, ou clusters de computadores distribuídos, fornecem recursos e serviços sob demanda em uma rede, geralmente a Internet, com a escala e a confiabilidade de um data center. Como exemplo de serviços que podem ser adquiridos para este fim destaca-se o serviço da Amazon Cloud Drive. O serviço de computação em nuvem da Amazon apresenta duas alternativas, a primeira como sendo a alternativa mais barata com o custo de US \$ 11,99 por ano para um armazenamento de 100GB e a segunda alternativa como sendo a alternativa mais cara com o custo de US \$ 59,99 por ano para uma capacidade de armazenamento de 1TB. Além disso, há planos que excedem os 1TB de uso, neste caso o custo do serviço será de US \$ 59,99 por 1TB adicional que o cliente requisitar (GROSSMAN, 2009).

Em seguida observa-se os dados duplicados como sendo a causa principal do modo de falha acerca do sistema de fiscalização. Os dados duplicados são um problema tendo em vista que a CET-Rio trabalha com uma base de dados na grandeza de TeraBytes, logo, haverá maior esforço para armazenar e manipular todos os dados em decorrência da duplicidade de dados.

A partir dos dados fornecidos pela CET-Rio do ano de 2020 do fluxo de tráfego registrado, foi possível identificar a gravidade do problema acerca da duplicidade

de dados. Em primeiro lugar os dados foram extraídos em planilhas *excel* e com base na funcionalidade *power pivot* foi possível identificar a quantidade de dados duplicados nos dados fornecidos. De acordo com a análise feita, cerca de 40% dos dados foram identificados como sendo dados duplicados e 25% como sendo dados nulos. A partir disso, fica evidente que mais da metade dos dados armazenados pela CET-Rio são dados que apresentam falhas e que incorrem em custos adicionais, ineficiência no serviço e desperdício de tempo.

Para exemplificar o problema real enfrentado pela CET-Rio, note que para cada 1TB que a CET-Rio analisa por ano, 400GB são de dados duplicados e 250GB são de dados nulos e que esses dados não representam o problema real do fluxo de tráfego da cidade do Rio de Janeiro. Além disso, foi utilizado como base o custo do serviço de armazenamento em nuvem da Amazon a fim de mensurar quantitativamente o custo da ineficiência operacional em decorrência dos dados duplicados. Por exemplo, A cada 1TB de dados tem-se um custo de 59,99 dólares por ano, que pela conversão de 5 reais o dólar (para exemplificar o cálculo), temos um custo operacional de armazenamento de dados por ano de 300 reais para cada 1TB. Cerca de 40% são dados duplicados, logo, 120 reais por ano para cada TeraByte de dados são identificados como perda operacional e desperdício. Vale ressaltar que este custo foi baseado no serviço oferecido pela Amazon e que pode ter um resultado diferente se levar em consideração o serviço atual empregado pela CET-Rio que é o de armazenamento em CD's.

Até o momento, foi apresentado o que seria o custo operacional em decorrência dos dados duplicados de maneira isolada, ou seja, foi utilizado como base o melhor serviço de armazenamento em nuvem do mercado e a partir disso o quanto a CET-Rio estaria economizando caso não houvesse dados duplicados em seus registros. Porém, este não é o caso real enfrentado pela CET-Rio, visto que se usa CD's para o armazenamento de dados. Sendo assim, temos que levar em consideração que o custo real da CET-Rio está além do valor apresentado neste trabalho pois, deve-se levar em consideração o custo com o transporte dos CD's e o custo de disponibilidade da informação, isto é, o quanto a informação demora para chegar aos profissionais que analisam os dados e emitem relatórios de desempenho do fluxo de tráfego. Este atraso é mais

evidente em decorrência do uso de CD's quando comparado ao uso de computação em nuvem em que os dados são atualizados em tempo real.

Neste mesmo sentido, para que o problema de duplicação de dados seja minimizado ou resolvido por completo, duas possíveis alternativas são destacadas, sendo elas 1) implementação de um macro via *excel* que elimine por completo todos os dados identificados como duplicados ou 2) implementação de um algoritmo de busca e detecção de anomalias em amostras de dados, como por exemplo o *Numenta Anomaly Benchmark* (NAB).

O *Numenta Anomaly Benchmark* (NAB) é um algoritmo *open access*, em que é possível modificar seu código fonte e adapta-lo a diversos cenários, e amplamente utilizado como ferramenta para identificar os tipos de anomalias. Tendo em vista que é demasiadamente complexo detectar padrões de anomalias em dados que são capturados em tempo real ou por meio de transmissão, o NAB busca validar as possíveis anomalias observadas com base em um rigoroso algoritmo de detecção (AHMAD *et al.*, 2017).

O algoritmo NAB define anomalia como sendo um determinado dado que não se enquadra em um padrão observado no histórico de dados passados. Além disso o algoritmo leva em consideração os erros frequentes de dados obtidos por meio de *streaming*, em que é comum haver erros decorrente da alteração súbita da frequência de transmissão de dados. Os padrões de anomalias são formados com base em dados passados, desta forma qualquer novo padrão observado é inicialmente considerado como uma anomalia. Contudo, se esses novos padrões persistirem, logo serão classificados como padrões comuns (ABDOLLAHZADEH *et al.*, 2015).

A Figura 8 demonstra uma aplicação do NAB em que foram detectadas três anomalias, representadas pelos círculos vermelhos. Primeiramente é importante destacar o padrão de comportamento dos dados observados, em que há picos em determinados dias, sendo que os picos são pontuais, isto é, não permanecem elevados ao longo do tempo, além disso há um intervalo de tempo entre os picos que podem variar, porém são regulares. Dito isso, o primeiro ponto de anomalia é observado na data 17 de fevereiro quando o pico não retornou ao seu estado padrão, ou seja, foi constatado uma oscilação acima do padrão comum. O

segundo ponto de anomalia ocorreu na data 22 de fevereiro em decorrência do valor observado muito superior aos demais padrões. Por fim o terceiro ponto de anomalia ocorreu na data 24 de fevereiro em que o intervalo entre pico perdurou por um tempo maior do que o comum, portanto, este foi considerado como um padrão não comum com base nos dados observados (LAVIN; AHMAD, 2015).

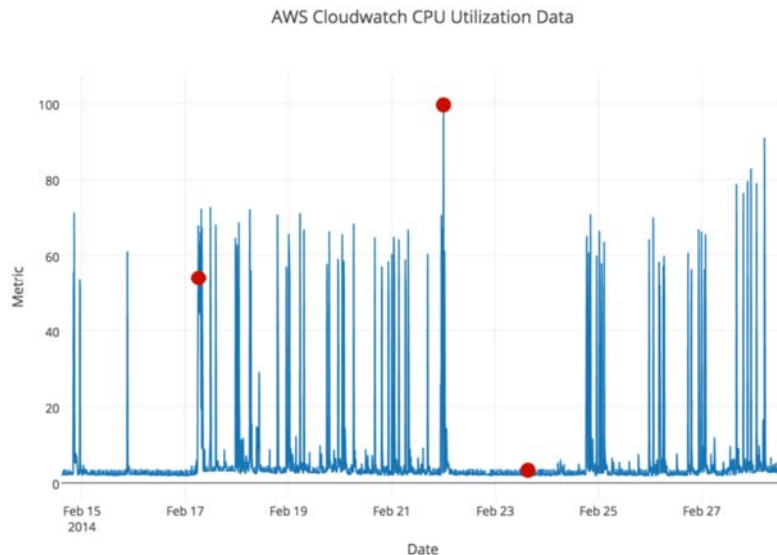


Figura 8: Exemplo de anomalias com base no NAB
Fonte: Lavin e Ahmad (2015)

Neste mesmo sentido, o NAB é uma ferramenta bastante valiosa para a comunidade acadêmica tendo em vista que diversos pesquisadores compartilham experiências e resultados dos trabalhos que se baseiam no algoritmo. Desta forma, além de aprimorar a qualidade do algoritmo a dimensão do banco de dados também aumenta. Em 2015 o banco de dados do NAB contém 58 arquivos de dados, cada um com 1000 a 22.000 instâncias de dados, para um total de 365.551 pontos de dados (LAVIN; AHMAD, 2015,). O banco de dados do NAB contém dados acerca de tráfego de veículos, Tweets, causas ambientais, desempenho computacional e dados de marketing digital.

Além disso, existem diversas versões derivadas do algoritmo NAB original, cada uma com suas respectivas propostas para verificar anomalias em situações reais.

CAPÍTULO 8: CRÍTICAS AOS MODELOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme já mencionado na introdução deste trabalho, o planejamento eficiente é aquele que utiliza os recursos públicos, dinheiro proveniente de tributos, da melhor maneira possível para que haja retorno para a sociedade em forma de melhorias na qualidade de vida (RUBIM; LEITÃO, 2013).

O grande desafio dos gestores públicos é identificar o ponto ótimo entre despesas e retorno aceitável para a sociedade. Por exemplo, se o orçamento anual de um determinado órgão for muito baixo, este órgão poderá sofrer complicações em sua atividade primária, comprometendo assim a prestação de serviço à sociedade, em contrapartida se o orçamento for muito alto, poderá haver um “desperdício de recursos públicos” pois o retorno à sociedade não foi compensado pelas despesas (PERO; MIHESSEN, 2013).

Diante disso, surge a necessidade de utilizar ferramentas para auxiliar a tomada de decisão e otimizar o uso dos recursos públicos para benefício da sociedade como um todo. O presente trabalho apresentou o modelo FMEA/FMECA como uma ferramenta para identificar as possíveis falhas no âmbito da engenharia de transporte, utilizando como base o caso da CET-RIO no qual o objeto de estudo foi o sistema de fiscalização eletrônico.

As principais falhas que foram observadas pelo FMEA/FMECA foram: 1) Falta de Manutenção Preventiva, 2) Capacidade de Registro e 3) Dados Duplicados. A partir das principais falhas observadas será apresentado a seguir um ensaio socioeconômico de como o modelo pode impactar significativamente os custos da CET-RIO e com isso gerar resultados positivos para a sociedade, visto que uma quantidade menor de recursos público serão necessários para executar o mesmo trabalho.

A Tabela 10 resume o ensaio socioeconômico, no qual o tipo de falha está relacionado com um tipo de custo específico da organização. Ou seja, a falta de manutenção preventiva está relacionada com o custo da capacidade ociosa, a capacidade de registro com o custo de oportunidade e os dados duplicados com o custo de mão de obra.

Tipo de Falha	Custos Relacionados
Falta de Manutenção Preventiva	Custo da Capacidade Ociosa
Capacidade de Registro	Custo de Oportunidade
Dados Duplicados	Custo com Mão de Obra

Tabela 10: Ensaio Socioeconômico

Conforme já explicado no Capítulo 7, o custo da capacidade ociosa é difícil de ser mensurado e também de ser contabilizado, porém, este custo é significativo e pode impactar os custos totais da organização. A eficiência organizacional é o melhor indicador para acompanhar o custo ocioso, ou seja, o aumento da eficiência organizacional é inversamente proporcional ao custo da capacidade ociosa (SIM; ENDRENYI, 1988). Esta eficiência organizacional pode ser aumentada em decorrência do uso de ferramentas que auxiliam a tomada de decisão, como por exemplo o modelo FMEA/FMECA.

O custo de oportunidade é o custo em termos de uma oportunidade renunciada (SCHLINDWEIN; KASSOUF, 2007). No caso em questão a falta de capacidade de registro implica em atrasos e complicações no planejamento da CET-RIO, ou seja, a mão de obra que deveria ser utilizada para analisar os dados, planejar e executar os planos de ação da organização estará sendo utilizada para resolver as questões da falta de capacidade de registro dos dados.

Os dados duplicados estão diretamente relacionados com a mão de obra. Conforme já mencionado no Capítulo 7, os dados duplicados implicam em maior esforço para tratar os dados, ou seja, aumento do custo de mão de obra em decorrência do retrabalho. Além disso, o custo de mão de obra devido aos dados duplicados pode se agravar em virtude da necessidade de contratação de mão de obra especializada, por exemplo algum programador, analista de sistemas e dentre outros para que o problema seja solucionado.

Neste sentido, o modelo FMEA/FMECA pode ser visto como uma excelente ferramenta para aumentar a eficiência no trabalho realizado da organização, visto que o processo de identificação de falhas se torna mais fácil e prático. Além disso, o resultado do modelo pode ser revisado periodicamente sem grandes complicações visto que basta reformular os modos de falha, suas causas e aplicar novos questionários para obtenção dos critérios. Vale ressaltar que o resultado, por ter um caráter subjetivo, pode variar ao longo do tempo, isto é, o

resultado obtido neste trabalho provavelmente será diferente caso o mesmo modelo seja aplicado um ano depois. Sendo assim, o interessante é aplicar o modelo periodicamente ao longo do ano, pelo menos duas vezes para que se tenha em mente os principais problemas da organização naquele momento.

Embora a ferramenta FMEA/FMECA tenha apresentado ótimos resultados no presente estudo, há certas limitações quanto ao seu uso. Verificou-se 3 limitações que podem impactar significativamente o resultado de uma pesquisa, sendo elas: 1) quantidade de entrevistados, no qual apenas uma pessoa foi entrevistada neste trabalho, sendo assim, a aplicação do questionário para várias pessoas da mesma empresa pode agregar maiores informações sobre os modos de falhas. 2) A quantidade de modos de falhas observados. Para elaborar todos os possíveis modos de falhas em um sistema deve-se utilizar meios subjetivos na identificação, visto que não há literatura suficiente que tenha estudado todos os possíveis modos de falhas. Logo, a melhor alternativa é listar a quantidade máxima de possíveis modos de falhas juntamente com algum funcionário da empresa em estudo. 3) Resultado do FMEA/FMECA é subjetivo. O entrevistado dará notas para cada tipo de falha de acordo com sua experiência, o que pode ser totalmente diferente caso seja aplicado a alguma pessoa mais ou menos experiente. Logo, há limitações quanto a pessoa em que se entrevista visto que isso influencia diretamente o resultado do modelo.

Por fim, ressalto como proposta para futuros trabalho a implementação do algoritmo *Numenta Anomaly Benchmark* (NAB) no âmbito da engenharia de transporte a fim de identificar falhas em histórico de dados e com isso identificar as possíveis soluções de modo automático e em tempo real, reduzindo assim ainda mais o custo operacional do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOLLAHZADEH, Asaad; CHRISTIE, Michael Andrew; CORNE, David. An adaptive metropolis-hasting sampling algorithm for reservoir uncertainty quantification in Bayesian inference. In: SPE Reservoir Simulation Symposium 2015. Society of Petroleum Engineers. **Anais...** p.1243-1265, 2015.

AHMAD, Subutai; LAVIN, Alexander; PURDY, Scott; AGHA, Zuha. Unsupervised real-time anomaly detection for streaming data. **Neurocomputing**, v.262, p.134-147, 2017.

ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta e. Inadequacy of technology and innovation systems at the periphery. **Cambridge Journal of Economics**, v. 31, n. 5, p. 669-690, 2007.

ALMEIDA, Dagoberto Alves, FABIANO Leal, PINHO Alexandre Ferreira de, FAGUNDES Liliane Dolores. Gestão do Conhecimento na análise de falhas: mapeamento de falhas através de sistema de informação. **Produção online**. 2006, vol. 16, n. 1.

ALPAYDIN, Ethem. **Introduction to machine learning**. MIT press, 2020.

AMBONATI, Victor. **Unsupervised Anomaly Detection**. 2017. Disponível em: <<https://www.kaggle.com/victorambonati/unsupervised-anomaly-detection>>. Acesso em: 11 de março de 2020.

ANSHELEVICH, Elliot; SEKAR, Shreyas. Blind, greedy, and random: Algorithms for matching and clustering using only ordinal information. In: Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence. **Anais...** 2016.

BENCHIMOL, Maíra; PERES, Carlos A. Edge-mediated compositional and functional decay of tree assemblages in Amazonian forest islands after 26 years of isolation. **Journal of Ecology**, v. 103, n.2, p.408-420, 2015.

BLANCHET, Jose; GALLEG0, Guillermo; GOYAL, Vineet. A markov chain approximation to choice modeling. **Operations Research**, v. 64, n.4, p.886-905, 2016.

BRASIL. Lei nº 881 de 11 de julho de 1986. **Diário Oficial da União: cria a secretaria municipal de transportes e cargos em comissão e funções gratificadas, autoriza a criação de empresa pública e de sociedade de economia mista e dá outras providências**, 1986.

BUENO, Ana Cristina Álvares. **A falência e as sociedades de economia mista e empresas públicas**, 2015. Disponível em: <<http://www3.mcampos.br/REVISTA%20DIREITO/PRODUCAOCIENTIFICA/artigos/anacristinaalvaresbuenofalenciasociedadeseeconomiamistaempresaspublicas.pdf>>. Acesso em: 19 de fev. de 2020.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Qualidade total-Padronização de empresas**. Falconi Editora, 2014.

CAVAIGNAC, André Luís de Oliveira; FORTE, Lorrana Lys Neves. Utilização do FMEA para priorização de risco ocupacional: uma nova abordagem direcionada a construção civil. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, 2018, 4.3: 132-149.

CEREZO-NARVÁEZ, Alberto et al. Integration of cost and work breakdown structures in the management of construction projects. **Applied Sciences**, v. 10, n. 4, p. 1386, 2020.

CET-RIO. **Companhia de Engenharia de Tráfego**. Prefeitura do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: < <https://www.rio.rj.gov.br/web/cetrio>>. Acesso em 19 de fev. de 2020.

CET-RIO. **Companhia de Engenharia de Tráfego**. Prefeitura do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/9390849/4237053/QDD.pdf>. Acesso em 16 de julho de 2022.

CHAWLA, Sanjay; ZHENG, Yu; HU, Jiafeng. Inferring the root cause in road traffic anomalies. In: 2012 IEEE 12th International Conference on Data Mining. **Anais....** p.141-150, 2012.

CRESCENZI, Riccardo; RODRÍGUEZ-POSE, Andrés. Infrastructure and regional growth in the European Union. **Papers in regional science**, v. 91, n. 3, p. 487-513, 2012.

DE MEDEIROS SANTOS, Cláudio Roberto et al. O Diagrama de Ishikawa no processo de arquivamento na gestão pública. **Revista de Ensino, Pesquisa e Extensão em Gestão**, p. e31-e31, 2020.

DEMERTZIS, Konstantinos; LAZAROS Iliadis; STEFANOS Spartalis. Cyber-Typhon: An Online Multi-task Anomaly Detection Framework. In: IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations. Springer, Cham. **Anais...** p.19-36, 2019.

DEVI, T. Rajani; REDDY, V. Shobha. Work breakdown structure of the project. **Int J Eng Res Appl**, v. 2, n. 2, p. 683-686, 2012.

DIAZ, Rafael; BEHR, Joshua G.; NG, ManWo. Quantifying the economic and demographic impact of transportation infrastructure investments: A simulation study. **Simulation**, v. 92, n. 4, p. 377-393, 2016.

ERFANI, Sarah. M.; RAJASEGARAR, Sutharshan; KARUNASEKERA, Shanika; LECKIE, Christopher. High-dimensional and large-scale anomaly detection using a linear one-class SVM with deep learning. **Pattern Recognition**, v. 58, p.121-134, 2016.

GITHUB. **Plataforma de hospedagem de código-fonte**. 2020. Disponível em: <https://github.com/numenta/NAB>. Acesso em 11 de março de 2020.

GOMIDE, Alexandre de Avila. **Transporte urbano e inclusão social: elementos para políticas públicas**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada- IPEA, 2003.

GREENSMITH, Julie; AICKELIN, Uwe; TEDESCO, Gianni. Information fusion for anomaly detection with the dendritic cell algorithm. **Information Fusion**, v.11, n.1, p.21-34, 2010.

GREGOR, Karol; DANIHELKA Ivo; GRAVES Alex; REZENDE, Danilo Jimenez; WIERSTRA Daan. Draw: A recurrent neural network for image generation. **arXiv preprint arXiv:1502.04623**, 2015.

GROSSMAN, Robert L. The case for cloud computing. **IT professional**, v. 11, n. 2, p. 23-27, 2009.

GUERBAI, Yasmine; CHIBANI, Youcef; HADJADJI, Bilal. The effective use of the one-class SVM classifier for handwritten signature verification based on writer-independent parameters. **Pattern Recognition**, v. 48, n.1, p.103-113, 2015.

HEIDARI, Ali Asghar; ABBASPOUR, Rahim Ali; JORDEHI, Ahmad Rezaee. Gaussian bare-bones water cycle algorithm for optimal reactive power dispatch in electrical power systems. **Applied Soft Computing**, v. 57, p.657-671, 2017.

JORDAN, Michael I.; MITCHELL, Tom M. Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. **Science**, v.349, n.6245, p.255-260, 2015.

KAREV, Dimitar; MCCUBBIN, Christopher; VAULIN, Ruslan. Cyber threat hunting through the use of an isolation forest. In: Proceedings of the 18th International Conference on Computer Systems and Technologies. **Anais...** p.163-170, 2017.

KUME, Henry. **Quality Management in New-Product Development: FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)**. University of Tokyo, 1996.

LAVIN, Alexander; AHMAD, Subutai. Evaluating Real-Time Anomaly Detection Algorithms--The Numenta Anomaly Benchmark. In: 2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA). **Anais...** p.38-44, 2015.

LEVIN, David A.; PERES, Yuval. **Markov chains and mixing times**. American Mathematical Soc., 2017.

LIU, Fei Tony; TING, Kai Ming; ZHOU, Zhi-Hua. Isolation forest. In: 2008 Eighth IEEE International Conference on Data Mining. **Anais...** p. 413-422, 2008.

MA, Run-Hui et al. 6-Shogaol mediated ROS production and apoptosis via endoplasmic reticulum and mitochondrial pathways in human endometrial carcinoma Ishikawa cells. **Journal of Functional Foods**, v. 74, p. 104178, 2020.

MIAO, Jianwei et al. Beyond crystallography: Diffractive imaging using coherent x-ray light sources. **Science**, v. 348, n. 6234, p. 530-535, 2015.

MIGUEL, Paulo Cauchick. Aspectos relevantes no uso da pesquisa-ação na engenharia de produção. **Exacta**, v. 9, n. 1, p. 59-70, 2011.

MOIN, Noor Hasnah; SALHI, Said; AZIZ, N. A. B. An efficient hybrid genetic algorithm for the multi-product multi-period inventory routing problem. **International Journal of Production Economics**, v.133, n.1, p.334-343, 2011.

MORETTI, Diego de Carvalho; BIGATTO, Bruno Valente. **Aplicação do FMEA: estudo de caso em uma empresa do setor de transporte de cargas**. 2016. Disponível em: <<http://files.qualysistem.webnode.com.br/200000067-898e78a889/Trabalho%20de%20FMEA.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

MOUSSAS, Vassilios C. Adaptive traffic modelling for network anomaly detection. In: Modern Discrete Mathematics and Analysis. Springer, Cham. **Anais...** p.333-351, 2018.

OLIVEIRA, Ualison Rebula de; PAIVA, Emerson José de; ALMEIDA, Dagoberto Alves de. Metodologia integrada para mapeamento de falhas: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas. **Production**, 2010, 20.1: 77-91.

OZTURK, Celal; HANCER, Emrah; KARABOGA, Dervis. Dynamic clustering with improved binary artificial bee colony algorithm. **Applied Soft Computing**, v.28, p.69-80, 2015.

PALADY, Paul. **FMEA. Análise dos modos de falha e efeitos prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: Editora Instituto Iman, 1997.

PARANHOS, Mayara, de Melo, BACHEGA, Stella Jacyszyn, TAVARES, Dalton Matsuo, CALIFE, Naiara Faiad Sebba. Aplicação da análise de modo e efeitos de falha para o gerenciamento de riscos de um projeto. **Sistemas & Gestão**, 2017, 11.4: 444-454.

PERO, Valéria; MIHESSEN, Vitor. Mobilidade urbana e pobreza no Rio de Janeiro. **Econômica**, v. 15, n. 2, 2013.

RATH, Frank. Tools for developing a quality management program: proactive tools (process mapping, value stream mapping, fault tree analysis, and failure mode and effects analysis). **International Journal Radiation Oncology Biology Physics**, v. 71, n. 1, p. 187–190, 2008.

RIBEIRO, Renato Guimarães, MAGRINYA, Francesca Torner, ORRICO, Romildo Dias Filho. Study of the changes in urban mobility of the Brazilian middle class, brought about by the population's increased income, and the ensuing impact on urban mass transit. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 160, p. 294-303, 2014.

RUBIM, Barbara; LEITÃO, Sérgio. O plano de mobilidade urbana e o futuro das cidades. **Estudos avançados**, v. 27, n. 79, p. 55-66, 2013.

SAFARI, Hossein; FARAJI, Zahra; MAJIDIAN, Setareh. Identifying and evaluating enterprise architecture risks using FMEA and fuzzy VIKOR. **Journal of Intelligent Manufacturing**, 2016, 27.2: 475-486.

SAKURADA, Eduardo Yuji. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. Dissertação de mestrado, Florianópolis-SC, 2001.

SANTHOSH, Emil C.; SANGWAI, Jitendra S. A hybrid differential evolution algorithm approach towards assisted history matching and uncertainty quantification for reservoir models. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v.142, p.21-35, 2016.

SANTOS, Ana Glécia Silva; JORGE, Gustavo Pires de Nascimento; CAVAINAC, André Luís de Oliveira. FMEA COMO FERRAMENTA DE IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS AO TRABALHADOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, 2019, 5.3: 19-34.

SCARINGELLA, Roberto Salvador. A crise da mobilidade urbana em São Paulo. **São Paulo em perspectiva**, v. 15, n. 1, p. 55-59, 2001.

SCHETTINO, Elisa Mara Oliveira. Gestão das empresas de transporte urbano no Brasil. **Revista Eletrônica de Economia**, v. 4, n. 7, 2006.

SCHLINDWEIN, Madalena Maria; KASSOUF, Ana Lúcia. Influência do custo de oportunidade do tempo da Mulher sobre o padrão de consumo alimentar no Brasil. 2007.

SEQUEIRA, Sérgio; LOPES, Eurico. Simple method proposal for cost estimation from work breakdown structure. **Procedia Computer Science**, v. 64, p. 537-544, 2015.

SIAMI-IRDEMOOSA, Elnaz; DINDARLOO, Saeid R.; SHARIFZADEH, Mostafa. Work breakdown structure (WBS) development for underground construction. **Automation in construction**, v. 58, p. 85-94, 2015.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **FMEA – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos**. Citisystems, 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/fmea-processo-analisemodos-falhas-efeitos/>>. Acesso em: 08 fev. 2020

SIM, S. H., & ENDRENYI, J. (1988). Optimal preventive maintenance with repair. **IEEE Transactions on Reliability**, 37(1), 92-96, 1988.

SPICKERMANN, Alexander; GRIENITZ, Volker; HEIKO, A. Heading towards a multimodal city of the future?: Multi-stakeholder scenarios for urban mobility. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 89, p. 201-221, 2014.

STAMATIS, Diomidis H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution**. Quality Press, 2003.

TANG, Duyu; QIN, Bing; LIU, Ting. Document modeling with gated recurrent neural network for sentiment classification. In: Proceedings of the 2015 conference on empirical methods in natural language processing. **Anais...** p.1422-1432, 2015.

VIEIRA, Adriana Carvalho Pinto et al. Análise de modelos de tomada de decisão para implantação em empresas familiares. **GESTÃO CONTEMPORÂNEA: REVISTA DE NEGÓCIOS DO CESUCA-ISSN**, v. 2446, p. 5771, 2015.

VILLACOURT, Mario. Failure mode and effects analysis (fmea): A guide for continuous improvement for the semiconductor equipment industry. **Sematech. Org**, 1992, 36.

VILLANUEVA, Marina Miranda. A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação. **Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau de Engenheira Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro**, 2015.

ZHENG, Yu; LIU, Yanchi; YUAN, Jing; XIE, Xing. Urban computing with taxicabs. In: of the 13th international conference on Ubiquitous computing. **Anais...** p. 89-98, 2011.

ANEXO

Questionário CET-RIO

Ocorrência: Quantas vezes você observou determinado evento ocorrer no seu dia-a-dia (Probabilidade).

Criticidade: Se refere a ordem de importância, urgência. Por exemplo, se ocorrer duas falhas no mesmo instante, a que tiver maior urgência terá uma nota maior.

Severidade: Quão prejudicial é determinada falha para o seu dia-a-dia.

Acerca dos Equipamentos

- 1) Há ocorrência de falhas de equipamentos em virtude da **falta de manutenção preventiva**? Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo.
- 2) Há ocorrência de falhas de equipamentos em virtude de **vandalismo**? Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo.
- 3) Há ocorrência de falhas de equipamentos em virtude de **instalação inadequada**? Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo.
- 4) Há ocorrência de falhas de equipamentos em virtude da **falta de recursos necessários para instalação/manutenção**? Isto é, falta de mão-de-obra para desempenhar as atividades ou equipamentos adequados ou verbas para manter o bom funcionamento do sistema. Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo.

- 5) Há ocorrência de falhas de equipamentos em virtude da **qualidade do material do equipamento**? Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo.

Acerca dos Padrões de Funcionamento

- 1) Há ocorrência de falhas no funcionamento do equipamento em virtude de **tempo ensolarado**? Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo
- 2) Há ocorrência de falhas no funcionamento do equipamento em virtude de **tempo chuvoso**? Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo
- 3) Há ocorrência de falhas no funcionamento do equipamento em virtude da **falta de campo de visão do equipamento**? Ou seja, veículos que passam no ponto cego do equipamento e acabam não detectando corretamente as informações necessárias. Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo
- 4) Há ocorrência de falhas no funcionamento do equipamento em virtude da **capacidade de registro do equipamento**? Ou seja, o sistema usado para registrar as informações tem problemas frequentes ou raramente há problemas; Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo
- 5) Há ocorrência de falhas no funcionamento do equipamento em virtude da **falta de um protocolo rígido de instalação/manutenção/obtenção da informação**? Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo

Acerca do Sistema de Fiscalização

- 1) Há ocorrência de falhas no sistema de fiscalização em virtude de **dados duplicados**? Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo
- 2) Há ocorrência de falhas no sistema de fiscalização em virtude de **dados nulos**? Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo
- 3) Há ocorrência de falhas no sistema de fiscalização em virtude de **dados corrompidos**? Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo
- 4) Há ocorrência de falhas no sistema de fiscalização em virtude da **falta de armazenamento do sistema**? Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo
- 5) Há ocorrência de falhas no sistema de fiscalização em virtude da **falta de atualização do sistema**? Se **SIM** dê uma nota de 0 a 10 para: 1) Ocorrência; 2) Criticidade e 3) Severidade. Caso responda **NÃO**, marque um X na tabela abaixo

Acerca dos Equipamentos			
Falhas	Ocorrência	Criticidade	Severidade
Falta de manutenção preventiva			
Vandalismo			
Instalação inadequada			
Falta de recursos			
Qualidade do equipamento			
Acerca dos Padrões de Funcionamento			
Falhas	Ocorrência	Criticidade	Severidade
Tempo ensolarado			
Tempo chuvoso			
Campo de visão do equipamento			
Falta de capacidade de registro			
Falta de um protocolo			
Acerca dos Sistema de Fiscalização			
Falhas	Ocorrência	Criticidade	Severidade
Dados duplicados			
Dados nulos			
Dados corrompidos			
Falta de armazenamento do sistema			
Falta de atualização do sistema			