

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM SISTEMAS
PRODUTIVOS

DANIEL BISPO

MODELO DE GESTÃO PARA A MANUTENÇÃO DE TRENS
METROPOLITANOS

São Paulo
Agosto / 2023

DANIEL BISPO

MODELO DE GESTÃO PARA A MANUTENÇÃO DE TRENS
METROPOLITANOS

Dissertação apresentada como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, sob a orientação da Profa. Dra. Eliane Antônio Simões.

Área de Concentração: Sistemas Produtivos

São Paulo
Agosto / 2023

B622m Bispo, Daniel
Modelo de gestão para manutenção de trens metropolitanos /
Daniel Bispo. – São Paulo: CPS, 2023.
86 f. : il.

Orientadora: Profª. Dra. Eliane Antônio Simões
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em
Sistemas Produtivo) – Centro Estadual de Educação Tecnológica
Paula Souza, 2023.

1. Manutenção. 2. Inovação. 3. Trens metropolitanos. 4. AMFE.
5. Design thinking. I. Simões, Eliane Antônio. II. Centro Estadual
de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

DANIEL BISPO

MODELO DE GESTÃO PARA A MANUTENÇÃO DE TRENS
METROPOLITANOS

Profa. Dra. Eliane Antônio Simões
Orientador – CEETEPS

Prof. Dr. Ricardo Triska
Examinador Externo – UFSC

Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro
Examinador Interno - CEETEPS

São Paulo, 11 de maio de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade da experiência da vida e por ter me mantido no caminho correto durante este projeto de pesquisa, com saúde e alegria.

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais e esposa, pelo suporte e incentivo ao aprendizado constante.

Agradeço a todas as pessoas que permitiram, participaram e contribuíram na realização deste trabalho, seja de forma direta ou indireta.

Agradeço aos meus colegas de turma pelo compartilhamento de conhecimento durante o percurso do mestrado.

Agradeço ao Centro Paula Souza, a todos os professores e aos profissionais da pós-graduação pela elevada qualidade do ensino e do suporte oferecido.

Agradeço de modo especial a minha orientadora, Professora Dra. Eliane Antônio Simões, pelos ensinamentos, dedicação, competência e paciência para me ajudar a concluir esse trabalho.

RESUMO

BISPO, D. **Modelo de Gestão para Manutenção de Trens Metropolitanos**. 86f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia de Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2023.

Operadores de ferrovias metropolitanas estão sendo desafiados pelo aumento da complexidade dos sistemas e do número de passageiros diários, e, por isso, há necessidade de foco na manutenção e sua gestão. O presente estudo foi pautado no seguinte questionamento de pesquisa: como aumentar a eficiência e desempenho dos serviços de manutenção de trens metropolitanos por meio da inovação na gestão contínua de manutenção? O objetivo geral deste estudo é desenvolver um modelo de gestão para aprimorar o processo de manutenção de uma companhia de trens metropolitanos. Utilizou-se uma análise bibliométrica para a construção do referencial teórico, o *Design Science Research*, como metodologia científica para a construção do modelo e do método de estudo de caso para validação. O modelo de gestão desenvolvido segue as indicações dos autores consultados, visto que os modelos e as ferramentas apresentadas na fundamentação teórica contêm sinergia com as necessidades da área de manutenção de trens metropolitanos. O modelo proposto utiliza como base a Análise de Modos e Efeitos de Falha (AMFE) e o *Design Thinking* e é adequado às diferentes condições da área de manutenção. Pode-se aplicá-lo tanto em processos próprios da empresa, quanto em processos de manutenção realizada por terceiros. A pesquisa tem como resultados o desenvolvimento de um modelo de gestão para auxiliar a manutenção de trens, sua aplicação, para melhoria do processo de substituição de para-brisas de trens metropolitanos. Conclui-se que o modelo é adequado para auxiliar na gestão dos serviços de manutenção de trens metropolitanos e que ferramentas advindas do *design*, apesar de terem sido bem aceitas na dinâmica do estudo de caso, necessitam ser mais bem experimentadas em conjunto com as etapas do modelo.

Palavras-chave: Manutenção; Inovação; Trens Metropolitanos; AMFE; *Design Thinking*.

ABSTRACT

BISPO, D. **Modelo de Gestão Manutenção de Trens Metropolitanos.** 86f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia de Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2023.

The challenges of increasing commuter rates and expanding system complexity impel metropolitan rail operators to focus on maintenance and management. This study addresses the question of how to advance the efficiency and performance of maintenance through innovation in continuous management and develops a model to enhance maintenance management. Its theoretical background was derived from bibliometric analysis, and Design Science Research served as a scientific methodology to construct the model, while a case study method was used to validate it. The model follows the designations of the consulted authors as their models and tools, presented in the theoretical foundation, synergize with the requirements of metropolitan train maintenance. It uses Failure Mode Effects Analysis (FMEA) and Design Thinking to accommodate diverse maintenance conditions and can be used in maintenance performed by the company and third parties. It can also be applied to improve windshield replacement in metropolitan trains. The study concludes that the FMEA tool effectively assists in the management of metropolitan train maintenance and that other tools arising from design, despite having been well accepted in the dynamics of the case study, need to be better researched in conjunction with the methodology of the FMEA tool.

Keywords: Maintenance; Innovation; Metropolitan Trains; FMEA; Design Thinking.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Habilidades interpessoais para gestão sustentável de facilidades.....	17
Quadro 2: Processo do Design Thinking.....	25
Quadro 3: Framework para implementação da Manutenção Produtiva Total.....	27
Quadro 4: Framework Multicritério para indicadores de desempenho de manutenção.....	30
Quadro 5: Número de funcionários na oficina de Manutenção de Trens	41
Quadro 6: Critérios de exclusão dos artigos encontrados	45
Quadro 7: Tipos de artefatos	48
Quadro 8: Exemplo preenchimento do FMEA	55
Quadro 9: Pontuação de severidade da falha	56
Quadro 10: Pontuação para Ocorrência da Falha	57
Quadro 11: Pontuação para detecção da falha	58
Quadro 12: Prioridades de ação para FMEA de processo	59
Quadro 13: Matriz de risco	62
Quadro 14: Ferramenta 5W2H	64
Quadro 15: Exemplo de preenchimento do FMEA	65
Quadro 16: Indicadores do modelo	65
Quadro 17: Descrição dos participantes do Workshop	68
Quadro 18: Modos de falha na troca de para-brisas de trem metropolitano	69
Quadro 19: Notas de Severidade, ocorrência e detecção	73
Quadro 20: Ferramenta 5W2H para plano de ação no processo de troca de para-brisas de trem metropolitano.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Escala das necessidades dos usuários de facilidades.....	19
Figura 2: Modelo de gerenciamento da inovação no ambiente organizacional.....	20
Figura 3: Modelo teórico convergente da institucionalização do processo de inovação.....	21
Figura 4: Dinâmica do Design Thinking.....	24
Figura 5: Proposta de modelos de indicadores para manutenção.....	29
Figura 6: Curva da banheira.....	33
Figura 7: Tópicos para desenvolvimento do FMEA.....	34
Figura 8: Abordagem sete passos do FMEA.....	35
Figura 9: Exemplo de árvore de estrutura de funções.....	36
Figura 10: Cadeia da falha.....	37
Figura 11: Oficina de Manutenção de Trens.....	41
Figura 12: Indicadores de Manutenção de Trens Metropolitanos.....	41
Figura 13: Matriz FOFA.....	44
Figura 14: Ciclos do <i>Design Science Research</i>	47
Figura 15: Desenho da pesquisa.....	50
Figura 16: Modelo de Gestão de Falhas utilizando-se o FMEA e o <i>Design Thinking</i>	51
Figura 17: Etapas de aplicação do modelo.....	53
Figura 18: Exemplo de brainstorming intuitivo.....	54
Figura 19: Brainstorming estruturado.....	55
Figura 20: Modelo de preenchimento do FMEA no brainstorming.....	55

Figura 21:	Gráfico de prioridades	63
Figura 22:	Substituição de para-brisas de trem metropolitano	67
Figura 23:	Etapas do processo de substituição de para-brisas	68
Figura 24:	<i>Brainstoming</i> para identificação de falhas	69
Figura 25:	Contato do colaborador com produto químico	71
Figura 26:	Infiltração de água pelo para-brisa	72
Figura 27:	Contabilização dos resultados da dinamica nos indicadores	74

LISTA DE SIGLAS

ABRAFAC – Associação Brasileira de *Facility Management*

AIAG – *Automotive Industry Action Group*

AMFE – Análise dos Módulos de Falha e Efeitos

BSI – *British Standard Institution*

CBM – *Condition Based Maintenance*

CEN – Comitê Europeu de Normalização

DSR – *Design Science Research*

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*

IFMA – *Internacional Facilities Management Association*

ISO – *International Organization for Standardization*

IEC – *International Eletrotechnical Commission*

KPI – *Key Performance Indicator*

MTBF – Média de Tempo entre Falhas
MTTR – Média de Tempo entre Reparo
OEE – Eficiência Global do Equipamento
QS – *Quality System Requirements*
RCM – *Reliability Centered Maintenance*
SAE – *Society of Automotive Engineers*
TPM – *Total Productive Maintenance*
VDA – *Verband der Automobilindustrie*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
1.1 Inovação.....	14
1.2 Gestão de Facilidades.....	15
1.3 Gestão da Inovação.....	19
1.4 <i>Design Thinking</i>	22
1.5 Gestão da Manutenção.....	25
1.6 Indicadores de desempenho.....	28
1.7 Manutenção Centrada em Confiabilidade.....	32
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	40

2.1	Ambiente da pesquisa.....	40
2.2	Análise Bibliométrica.....	45
2.3	Design Science Research.....	46
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
3.1	Construção do modelo.....	51
3.2	Dinâmica de aplicação do modelo.....	52
3.3	Aplicação do modelo.....	65
3.4	Análise dos resultados.....	73
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
4.1	Conclusão	75
4.2	Limitações e sugestões para continuação da pesquisa.....	75
	REFERÊNCIAS.....	77

INTRODUÇÃO

É acompanhado nos fóruns específicos profissionais que se declara existir uma intensa pressão colocada nas organizações para serem mais eficientes e eficazes em suas atividades periféricas, e com isso a manutenção tem ganhado um destaque central e tem sido requisitada uma abordagem proativa de gestão da manutenção (FRASER, 2014).

Essas atividades, segundo Mudrak, Van Wagenberg e Wubben (2005), que podem ser realizadas pela própria organização ou por empresas terceirizadas, têm como objetivo prover melhorias, otimizar espaços, adotar tecnologias e até mesmo promover inovações para o negócio.

Com isso, a dedicação da empresa em desenvolver novos e contínuos processos de inovação mostra ser uma maneira de se manter competitiva e de adicionar valor ao negócio (ATKIN e BILDSTEN, 2017).

Conforme Rodriguez *et al.* (2021), as organizações precisam incentivar o investimento em novas tecnologias, reduzir a lacuna competitiva e comparativa com países industrializados e entender que o desempenho das empresas pode aumentar com o acesso e o uso dessas tecnologias para sua transformação digital.

Em meio a mudanças fundamentais na área de manutenção trazidas pelas tecnologias emergentes, seguimentos com um alto valor agregado em seus produtos, como o ferroviário, estão com foco na utilização dessas tecnologias em seus processos de manutenção para aumento da confiabilidade e redução de custos (ZUTIN *et al.*, 2022).

Segundo Roland Berger (2016), a indústria ferroviária possui o potencial de aplicação de novas tecnologias em seus modelos de manutenção, com o intuito de elevar os padrões de qualidade, segurança e disponibilidade dos trens.

Operadores de ferrovias metropolitanas estão sendo desafiados pelo aumento da complexidade dos sistemas e do número de passageiros diários. Portanto, a manutenção e a aplicação de tecnologias emergentes estão em foco (WIPPEL; LUCKE e JOOSTE, 2021).

Para acompanhar o desenvolvimento tecnológico e a alta demanda por valor, o uso de metodologias que enfocam a inovação de produtos e processos, numa avaliação integrada e holística, como as metodologias de projetos, torna-se essencial (HYEOG-IN *et al.*, 2021).

As metodologias de projetos, como o *Design Thinking*, ganharam destaque nos últimos anos devido às suas potencialidades de promoção da inovação. Na literatura, é possível encontrar pelo menos duas justificativas para esse fenômeno: a ligação dos processos

de *design* com retorno econômico na elaboração de produtos inovadores e a forma com que as metodologias de projetos incentivam a criatividade (SANHUEZA & NIKULIN, 2019).

Nessa direção, o presente estudo foi pautado no seguinte questionamento de pesquisa: Como aumentar a eficiência e desempenho dos serviços de manutenção de trens metropolitanos por meio da inovação na gestão contínua de manutenção?

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um modelo de gestão para aprimorar o processo de manutenção contínua de uma companhia de trens metropolitanos.

As etapas deste estudo incluíram:

- a. Identificar material teórico relevante por meio de uma análise bibliométrica e revisão bibliográfica sobre os principais temas.
- b. Construir um modelo de gestão de manutenção de trens metropolitanos, por meio da metodologia *Design Science Research*.
- c. Validar o modelo construído por meio de um estudo de caso.
- d. Apresentar o modelo de gestão desenvolvido, de modo a possibilitar seu uso por gestores da área de manutenção.

O presente trabalho foi desenvolvido durante o curso de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, oferecido pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETEPS).

A linha de pesquisa do trabalho é Gestão da Inovação Tecnológica e Sustentabilidade, que tem como objetivo o desenvolvimento de estudos e pesquisas no conjunto de conhecimentos relacionados à gestão, aplicação da inovação tecnológica e da sustentabilidade, incluindo o ato de gerar ou adotar novas ideias, objetos ou práticas com ganho de mercado.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, abordam-se os temas que contribuem para os objetivos deste trabalho, apresentando os conceitos sobre inovação, gestão de facilidades e gestão da manutenção.

1.1 Inovação

Inovação é um tema antigo, muito ligado ao economista austríaco e professor da universidade de Harvard, Joseph Schumpeter, que foi o principal pesquisador desse conceito na década de 30. Schumpeter acreditava que longas ondas dos ciclos de desenvolvimento no capitalismo eram resultado da combinação de inovações, que criavam um setor líder na economia, ou um novo paradigma, que passava a impulsionar o seu rápido crescimento (QUINELLO; NICOLETTI, 2009).

A teoria de desenvolvimento econômico de Schumpeter trata de cinco tipos de atividades que envolvem o processo de inovação: 1. A introdução de um produto novo ou uma mudança qualitativa em um produto existente; 2. Novo processo de inovação na indústria; 3. Abertura de um novo mercado, um mercado em que uma área específica da indústria ainda não se tenha penetrado, independentemente do fato de o mercado existir antes ou não; 4. Desenvolvimento de novas fontes de provisão para matérias primas ou outras contribuições, independentemente do fato de a fonte existir antes ou não; 5. Mudança organizacional (SCHUMPETER, 1988).

A inovação também pode ser caracterizada como um produto ou processo novo, melhorado, ou a combinação de um produto e processo que possui diferenças significantes dos produtos ou processos anteriores e possui potencial de aplicação e utilidade para o usuário (OSLO; EUROSTAT, 2018).

Segundo o Manual de Oslo (2018), existem as atividades de inovação e a inovação do negócio. Atividades de inovação são aquelas que pretendem trazer um resultado em inovação para a empresa, tanto em seu desenvolvimento financeiro, comercial ou de produção. A inovação do negócio é um novo ou melhorado produto ou modelo de negócio da organização, com a utilização de conceitos nunca utilizados pela empresa para agregação de valor.

Maximiano (2012) coloca como organização inovadora aquela que enfatiza a pesquisa e lida com ambientes dinâmicos. O trabalho com equipes multidisciplinares e a cooperação são mecanismos básicos de coordenação dos projetos inovadores.

A utilização de redes de conhecimento, como parceiros de pesquisa, universidades e redes externas, também pode auxiliar na compreensão e alcance da melhor estratégia de inovação, por meio da digitalização e realinhamento de modelos de negócio das empresas e sistemas produtivos (APOSTOLOV; COCO, 2020).

O desenvolvimento econômico de um país também está relacionado ao seu poder em inovar. Nesse sentido, desenvolver e propagar tecnologias acelera o processo de crescimento de uma nação e coloca nas inovações o papel de elemento chave de análise desse desenvolvimento (ARAÚJO; OLIVEIRA, 2020).

Modelos de negócio que incluem a gestão da inovação têm um impacto significativo na vantagem competitiva e no desempenho financeiro das empresas, e auxiliam na sobrevivência das organizações que operam em mercados emergentes e instáveis (ANWAR, 2018).

Segundo Schallmo, Williams e Boardman (2017), existem alguns habilitadores que permitem a transformação digital e a inovação no modelo de negócio das organizações, como o acesso a dados digitais, automação dos processos, acesso digital ao cliente e o acesso à rede sincronizada da cadeia de suprimentos para redução do tempo de produção e ciclos de inovação.

Outra vertente de inovação é a relacionada a serviços. Apesar das inovações em serviços serem geralmente devido implementação de novas tecnologias, elas são frequentemente combinadas com inovações nos processos de gestão organizacional (SUNDBO, 1997).

A inovação em serviços pode ser beneficiada por um processo de abordagem que não seja focado somente na interface com novos clientes, sistemas de entrega ou opções tecnológicas, mas também no envolvimento entre os grupos de interesse ligados a atividade, como parceiros, fornecedores e empresas do setor (NARDELLI, 2017).

Neste trabalho, a gestão da inovação é abordada segundo essa perspectiva, sendo a inovação a adoção de um novo modelo para a gestão de manutenção dos trens metropolitanos de uma companhia ferroviária.

No próximo capítulo, o tema Gestão de Facilidades é abordado devido a sua ligação ao setor de serviços.

1.2 Gestão de Facilidades

O termo Gestão de Facilidades originou-se por volta de 1960 nos Estados Unidos da América para descrever o crescimento de práticas de terceirização dos serviços bancários, responsáveis pelo processamento de cartões de créditos e outras transações (QUINELLO; NICOLETTI, 2006).

Pela definição da *International Facilities Management Association* (IFMA), Gestão de Facilidades é uma atividade que engloba múltiplas disciplinas, para assegurar a funcionalidade do ambiente, por meio da integração de pessoas, locais, processos e tecnologia.

Segundo Mudrak *et al.* (2005), a Gestão de Facilidades pode ser entendida como o gerenciamento de processos, que envolve múltiplas atividades que podem ser executadas por múltiplos atores de uma ou várias organizações. Isso fomenta a criação ou adoção de novos produtos, serviços, métodos ou até mesmo transferência para novos parceiros de mercado.

E, para Atkin e Bildsten (2017), gestão de Facilidades é uma estratégia utilizada pelas organizações para o gerenciamento das atividades de suporte de sua atividade principal. A área emprega 3% da força de trabalho no Reino Unido e conta com uma movimentação de 115 bilhões de euros por ano.

Conforme relatório da ABRAFAC (Associação Brasileira de *Facility Management, Property and Workplace*), o mercado do setor está avaliado em 115 trilhão de dólares em nível global. No Brasil, o valor estimado é de 100 bilhões de reais.

Segundo Porter (1986), a Gestão de Facilidades, dentro da cadeia de valor, é responsável pelas atividades de suporte e infraestrutura, com o objetivo de integrar a organização na busca de vantagem competitiva.

A Gestão de Facilidades deve adicionar valor ao negócio, e não ser somente um custo agregado. Justificar sua existência e satisfazer uma necessidade social são benefícios a serem alcançados, intangíveis ou tangíveis e quantificáveis (ATKIN; BILDSTEN, 2017).

Um sinal de maturidade do setor de Facilidades é a padronização através de instituições como a *British Standard Institution* (BSI) no Reino Unido, o Comitê Europeu de Normalização (CEN), e normas de gestão e estratégia como a ISO 41001 para Gestão de Facilidades e Sistemas (ATKIN; BILDSTEN, 2017).

Os estudos em Gestão de Facilidades estão frequentemente voltados em avaliar se os serviços serão realizados pela própria empresa ou empresas terceirizadas. Na maioria dos casos, a solução é a combinação das soluções e, em algumas situações, é realizada a entrega integrada de todos os serviços. Estratégias de terceirização, modelo de negócio e cadeia de valor são tópicos diretamente ligados a Gestão de Facilidades (JENSEN, 2019).

Também segundo Jensen (2019), estabelecer contratos de prestação de serviços e terceirizar atividades principais e/ou secundárias de uma organização são opções de modelos de negócios para Gestão de Facilidades.

Contratos de prestação de serviços já existem há séculos e foram desenvolvidos de forma mais sofisticada durante o império romano. O ato de transferir a responsabilidade sobre a tarefa tem um histórico ainda mais longo, com suas raízes no início dos tempos históricos, sob a responsabilidade de escravos para realização da atividade (JENSEN *et al.*, 2008).

A terceirização com pacotes de serviços é relativamente um novo fenômeno. Desde os anos 1990, isso tem sido desenvolvido gradualmente como uma extensão da terceirização de serviços únicos (JENSEN *et al.*, 2008).

No Brasil, a terceirização tem sido registrada desde o final da década de 1960, começando pelo setor público e posteriormente foi adotada pelas empresas privadas como estratégia de negócio (CAMPOS, 2018).

Parcerias público-privadas (PPP) foram iniciadas no Reino Unido por decisão política na década de 1980 durante o governo de Margaret Thatcher. O seu objetivo é transferir a operação de serviços públicos à iniciativa privada, ficando o estado responsável por fiscalizar e monitorar o desempenho da empresa contratada (NARDELLI; RAJALA, 2018).

A *International Facilities Management Association* (IFMA) afirma que a indústria de Gestão de Facilidades cresce em passos rápidos, acompanha tendências, como a internet das coisas, monitoramento e automação de edificações, engajamento e autonomia dos empregados, infraestrutura para tecnologia, impactos ambientais e sustentabilidade.

Muitas empresas têm abordado a Gestão de Facilidades com o foco na sustentabilidade. O desenvolvimento de habilidades pessoais é um fator chave para a gestão da nova agenda de sustentabilidade, com o objetivo central de desenvolver competências e inovações sustentáveis nas organizações (ATKIN; BILDSTEN, 2017), (SARPIN *et al.*, 2018).

Como resultado da pesquisa realizada por Sarpin *et al.* (2018), foram elencadas sete habilidades necessárias para o desenvolvimento de práticas sustentáveis na Gestão de Facilidades. Essas habilidades são mostradas no Quadro 1.

Quadro 1: Habilidades interpessoais para uma sustentável gestão de facilidades

Nº	Habilidade Interpessoal	Resultados
1	Trabalhar entre disciplinas	Equipe com visão holística; trabalho em equipe; decisão tomada baseada no conjunto de disciplinas envolvidas.
2	Motivar outros <i>Stakeholders</i>	Bom relacionamento; ensino dos

		<i>stakeholders</i> envolvidos e convencimento de outras pessoas a participarem do projeto.
3	Exercer a automotivação	Capacidade de manter a aplicação de esforços para que o projeto aconteça.
4	Exercer uma boa comunicação	Explicação, argumentação, defesa do ponto de vista e fala confiante; habilidades de escrita
5	Trabalhar em colaboração	Ajuda na motivação e colheita de <i>feedbacks</i> ; alcance do conhecimento da equipe.
6	Planejar e implementar iniciativas sustentáveis	Equipe autônoma na condução dos projetos e tomada de decisão.
7	Ter coragem de fazer a diferença	Liberdade da equipe na expressão e defesa de opiniões e ponto de vista

Fonte: Adaptado de Sarpin *et al.* (2018)

Para entender as necessidades do usuário dos serviços de Facilidades, Finch (1996) relacionou a pirâmide de Maslow com as atividades e objetivos alcançados pelo setor na tentativa de evidenciar sua importância.

Adaptada de Quinello e Nicoletti (2006), a Figura 1, citada abaixo, demonstra que, para atingir tais necessidades, devem ser atendidas, primeiramente, as demandas relacionadas às condições ambientais em que o usuário está inserido para assegurar suas necessidades psicológicas.

No segundo pilar da pirâmide, encontram-se a confiabilidade operacional, o controle de acessos e a saúde, que buscam segurança e seguridade do usuário na utilização do serviço.

Os três últimos pilares da pirâmide buscam atender as propriedades sociais, o ego-status e a autorrealização dos usuários. Para atender tais necessidades, os serviços de Facilidades buscam a provisão de objetos comuns do espaço, a padronização e a melhor visualização e conforto.

Os dois primeiros pilares, que se encontram na base da pirâmide, são sustentados pelos fatores higiênicos, que são circunstâncias externas ao usuário e serviço, e a manutenção, que assegura a confiabilidade operacional. Com isso, percebe-se a importância da manutenção para atendimento das necessidades dos usuários dos serviços de Facilidades.

Figura 1: Escala das necessidades dos usuários de facilidades



Fonte: Adaptado de Quinello e Nicoletti (2006)

1.3 Gestão da Inovação

Mudrak *et al.* (2005) propõem um modelo de gerenciamento de inovação, como ilustrado na Figura 2, em que o ambiente interno da organização deve possibilitar rotinas e atividades de fomento à inovação.

Em termos de ambiente organizacional, a empresa deve se concentrar no seu desenvolvimento, usar, manter e estender as rotinas habilitadoras de inovações para a efetiva implementação de mecanismos e estruturas, conexões externas efetivas e uma abordagem estratégica para inovação.

No processo de inovação, são definidas cinco fases dentro das etapas de entrada, transferência e saída.

A fase de exploração envolve a detecção de sinais no ambiente interno e externo em busca de um potencial para mudança.

A fase de estratégia consiste em ligar os sinais relevantes com os objetivos e principais competências da organização. Os recursos envolvem a combinação de conhecimentos novos e

existentes (disponíveis dentro e fora da organização) e recursos tangíveis e intangíveis, para oferecer soluções para o problema. A fase de implementação inclui as rotinas, atividades e ferramentas para a execução e desenvolvimento dos projetos e desenvolvimento do mercado.

As fases de aprendizado e renovação representam uma reflexão sobre o processo e a captação do conhecimento. A renovação é essencialmente construída a partir do resultado da inovação anterior, com um ciclo de melhoria contínua medido por indicadores de desempenho estrategicamente definidos.

Figura 2: Modelo de gerenciamento da inovação no ambiente organizacional



Fonte: Adaptado de Mudrak; Van Wagenberg e Wubben (2005).

No modelo de Quinello (2009), o processo de institucionalização da inovação na organização, ilustrado na Figura 3, geralmente é iniciado por uma pressão causada pela atuação de forças institucionais (sejam normativas, regulatórias ou cultural-cognitivas), internas ou externas à organização.

Na fase de habitualização, são buscadas alternativas de inovações por meio de um estudo exploratório do mercado e ambiente. Na etapa seguinte, a da objetificação, a organização já é capaz de transferir a ideia para algo mais palpável e permite a criação de protótipos, além da realização de experimentos para validação da solução.

Na última fase, sedimentação, a organização repete o processo de inovação e promove a melhoria contínua. Somente quando a empresa implanta continuamente o processo de inovação em todos os projetos e obras (mesmas ações, regras e recursos) que se pode dizer que o processo está institucionalizado.

Figura 3: Modelo teórico convergente da institucionalização do processo de inovação



Fonte: Adaptado de Quinello (2009)

O processo de inovação em um modelo de negócio envolve a colaboração intraorganizacional em diferentes fases. A orientação externa dentro dos ecossistemas de serviços envolvem uma reação às mudanças no ambiente externo e ação proativa dos *stakeholders* internos envolvidos no processo de inovação (NARDELLI; RAJALA, 2018).

Para inovadores que lidam com redes heterogêneas de grupos de interesse, como provedores de serviços de suporte *business-to-business*, Nardelli (2017) recomenda práticas que incluem um forte foco na gestão de expectativas ao introduzir novos serviços ou mudanças.

A inovação está também relacionada com os avanços tecnológicos e a alta demanda por valor nos produtos e processos. Com isso, o uso de metodologias que enfocam a inovação de produtos e processos, numa avaliação integrada e holística, torna-se essencial (HYEOG-IN *et al.*, 2021).

O *Design* de produto vêm ganhando destaque nos últimos anos devido às suas potencialidades de promoção da inovação, onde na literatura é possível encontrar pelo menos duas justificativas para esse fenômeno. Uma delas é a ligação dos processos de *Design* com retorno econômico na elaboração de produtos inovadores e a forma com que essas metodologias incentivam a criatividade (SANHUEZA; NIKULIN, 2019).

Burdek (2008) afirma que as metodologias de *Design* são, para produtos e processos, reflexos objetivos dos esforços para racionalização, e trazem princípios para a busca de novas soluções que podem levar à inovação e à abertura de novas possibilidades de mercado.

Olhar os problemas organizacionais de novos pontos de vista é uma das principais atividades na prática das metodologias de *Design*, com o desafio chave de obter resultados com alto valor agregado (RODRIGUEZ; BENAVIDES, 2021).

Ao contrário da abordagem tradicional analítica para a solução de problemas, os métodos de *Design* propõem que se deve gerar opções a partir de iterações constantes da equipe e usuários, com o uso de modelagem e prototipagem para a definição da solução que atende a necessidade dos usuários (VASCONCELOS, 2009).

A outra justificativa é apontada por Thurgood *et al.* (2015), pois ponderam que o *Design* é particularmente adequado para alcançar inovações porque permite uma gama de sensibilidades e técnicas características dos projetistas e profissionais da área.

O campo do *Design*, como frente de ação para inovação, pode ser utilizado como estratégia de desenvolvimento social, econômico e de competitividade, que permite integrar núcleos estratégicos da empresa e modifica a abordagem exclusiva de operação e produção (SIMONA *et al.*, 2017).

Wu (2013) ressalta a importância do uso da metodologia de *Design* para a inovação de produtos e processos. Utiliza como exemplo o sucesso do caso do governo de Taiwan, que iniciou uma campanha em 2006 para a prática de uma metodologia de *Design* inovadora baseada nos métodos da IDEO, empresa americana que preconiza o desenvolvimento de inovações por meio do *Design Thinking*.

1.4 *Design Thinking*

O *Design Thinking*, uma abordagem baseada em *Design* para resolver problemas humanos, é cada vez mais adotado por empresas para desenvolver inovações (NAKATA; HWANG, 2020).

Essa abordagem é um processo criativo e iterativo, com processos centrados no ser humano, portanto o entendimento e antecipação das necessidades dos usuários são extensivamente explorados na criação de produtos ou serviços, sendo a inovação decorrente das necessidades dos clientes em conjunto com os aspectos tecnológicos e de negócios envolvidos na decisão (BROWN; KATZ, 2011).

Ao descrever como o *Design Thinking* acontece, Brown (2020) apresenta três estágios: a Inspiração, a Ideação e a Implantação, desenvolvidos por meio de interações constantes de uma equipe multidisciplinar, clientes dos processos e usuários.

A Inspiração tem por objetivo um mergulho no contexto do projeto, buscando responder qual é o problema, qual é a oportunidade do negócio, qual a mudança pretendida, quais são as necessidades dos usuários, quais são as maiores restrições e como a tecnologia pode auxiliar na solução. O autor enfatiza a importância da empatia e pensamento abduutivo pela equipe, devendo, nessa fase, reunir as informações obtidas por meio de observações locais, regionais e globais e disponibilizá-las visualmente para a equipe, de modo a apontar padrões e identificar oportunidades e desafios (BROWN, 2020).

O estágio de Ideação é marcado pela intensa experimentação e desenvolvimento de soluções para os *insights* obtidos durante o estágio anterior (Brown, 2020).

Entre as técnicas possíveis para geração de ideias, duas se destacam como facilitadoras para esse estágio: o *brainstorming* e o *storytelling*.

O *brainstorming* é uma das principais técnicas de geração de ideias em nível de grupo. As sessões são feitas em equipes e geralmente incluem estágios que correspondem a geração do maior número possível de ideias, sem críticas ou autocensura, a geração de alternativas por meio de discussão e a tentativa de propor soluções criativas e apropriadas para solução do problema proposto (MAARAVI *et al.*, 2020).

O *storytelling* permite aos *designers* apresentar as ideias de maneira tangível, ao invés de tentar explicá-las, por meio de textos e gráficos técnicos, apresentam uma história que ilustra como a ideia pode responder às necessidades de um usuário e trazer retorno para a empresa, sendo uma ótima maneira de conseguir a atenção de uma audiência não especialista (SIMONA *et al.*, 2017).

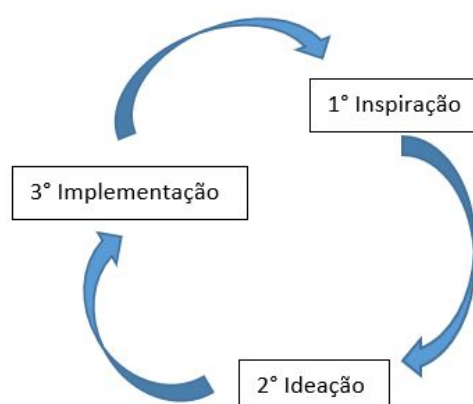
O estágio de Implantação envolve a criação de protótipos e testes com usuários, a escolha da solução e alinhamento com a estratégia de negócios, a elaboração de *frameworks* para facilitar entendimento e integração das equipes da empresa, auxiliar na construção de estratégias de comunicação interna e externa (BROWN, 2020).

Comumente, descobertas inesperadas acontecem na trajetória do *Design Thinking*, sendo, muitas vezes, necessário revisitar suposições dadas como certas em estágios anteriores. Ao testar um protótipo, por exemplo, os consumidores podem fornecer *insights* que apontam para uma abertura de mercado mais interessante, mais promissora e potencialmente mais lucrativa, o que deve levar a novas inspirações, em vez de seguir em frente no plano original (BROWN, 2020).

Promover e integrar com sucesso a inovação e ideias é um desafio para as organizações, afinal mesmo empresas bem gerenciadas podem deixar de gerir a inovação de forma eficaz. Por isso, ferramentas e abordagens como o *Design Thinking* podem auxiliar esse processo (MAARAVI *et al.*, 2020).

Na Figura 4, apresentam-se os três estágios: a Inspiração, a Ideação e a Implantação, e sua dinâmica no desenvolvimento do *Design Thinking*, ressaltando a natureza iterativa e não linear da jornada, já que se trata de um processo exploratório.

Figura 4: Dinâmica do Design Thinking



Fonte: Adaptado de Brown (2020)

Segundo Vianna, M. *et al.* (2012), o *Design Thinking* é um tipo de raciocínio pouco convencional no ambiente empresarial, em que se busca formular questionamentos por meio da apreensão e compreensão dos fenômenos pensando de maneira abduativa, desvinculando do pensamento lógico cartesiano, desafiando as normas empresariais e estimulando a visão “fora da caixa”.

Poucos estudos empregaram métodos empíricos rigorosos de investigação da aplicação do *Design Thinking* nas organizações, mesmo a abordagem sendo colocada como antídoto para métodos de gerenciamento ineficientes (MICHELI *et al.*, 2018).

Schleinkofer *et al.* (2019) apresentam um processo de aplicação do *Design Thinking*, apresentando 6 etapas para os três estágios propostos por Brown, conforme o Quadro 2.

A primeira etapa consiste na definição de um time multidisciplinar que possa auxiliar na determinação e na solução do problema.

Na segunda etapa, são realizados a exploração e o entendimento do problema, por meio do uso de técnicas como o *brainstorming* para a discussão dos principais termos e questões sobre o assunto.

A etapa de observação inclui entrevistas com os usuários e entendimento mais profundo sobre o problema e o ambiente em que está inserido, visualizando possíveis soluções presentes no cenário de estudo.

O ponto de vista pode ser entendido como a etapa em que são criados personagens fictícios sobre diferentes perfis de usuários, representando os seus desejos, motivações, expectativas e necessidades, ajudando a equipe a criar maior empatia com o público alvo, podendo ser utilizadas ferramentas como o mapa de empatia e *storytelling*.

A ideação surge de forma a estimular a criatividade do grupo por meio de técnicas e exercícios diversos, visando criar o maior número de soluções possíveis.

Por fim, são iniciadas as fases de prototipação e testes. Nessa fase, são escolhidas as melhores soluções encontradas na fase de ideação e construídos objetos visuais de maneira simples, de forma a demonstrar o produto ou solução de forma clara e prática. Essas soluções são testadas em um contexto realista e depois o *feedback* é coletado para posterior aprimoramento.

Quadro 2: Processo do Design Thinking

Etapas do Processo	Ferramentas e métodos	Objetivos das Etapas
Definição da Equipe	Definição do problema; reunião de um time multidisciplinar.	Definir preliminar do problema; determinar o time de <i>Design Thinking</i> .
Exploração e entendimento	<i>Brainstorming</i> /Discussão dos principais termos; teste de soluções existentes, se possível.	Assegurar o entendimento de todos sobre o problema; desenvolver expertise no tópico do projeto.
Observação	Entrevistas com usuários; pesquisa sobre o problema, o ambiente e aplicação de soluções já presentes	Enriquecer o conhecimento sobre o usuário e os seus problemas e o conhecimento sobre o pano de fundo do problema, lugar de uso e ambiente operacional.
Ponto de vista	Criação de Personas com <i>template</i> pessoal; mapa de empatia <i>Story-Telling</i> ; questões do tipo: como podemos solucionar?	Compreender as informações coletadas na fase de observação e resumir resultados em pessoa fictícia e em diversos pontos de vistas.
Ideação	Técnicas criativas; questões para estímulo	Gerar e colecionar quantas ideias forem possíveis para a solução do problema.
Prototipação / Teste	Protótipos simples com objetivos visuais para demonstrar o propósito e efeito da inovação; teste dos	Criar um ou mais protótipos; obter <i>feedback</i> dos usuários sobre o protótipo para mais detalhes e melhoria.

	protótipos em um contexto realista e entrevista dos usuários Coleta de <i>feedback</i>	
--	---	--

Fonte: Adaptado de Schleinkofer *et al.* (2019)

1.5 Gestão da Manutenção

Segundo Fraser (2014), nos últimos anos, com a intensa pressão colocada nas organizações para serem mais eficientes em suas atividades periféricas (relacionadas aos equipamentos e aos serviços), a manutenção tem ganhado um destaque central e tem sido requisitada uma abordagem proativa de sua gestão.

Afirma, ainda, que, como os custos de manutenção são elevados, as empresas não aceitam somente respostas reativas às falhas, mas também ações proativas, sustentadas pela gestão eficiente das atividades de manutenção como objetivo estratégico para a organização.

Os modelos de gestão da manutenção mais utilizados são a manutenção produtiva total, em inglês *Total Productive Maintenance* (TPM); manutenção baseada em condição, em inglês *Condition Based Maintenance* (CBM); e manutenção centrada na confiabilidade, em inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM) (FRASER, 2014).

A TPM tem origem no Japão e se provou muito eficaz e rentável nas companhias japonesas e adotada em várias empresas mundialmente. Nesse modelo, entende-se que as pessoas que utilizam os equipamentos são aquelas que possuem maior conhecimento sobre eles e são as mais indicadas para contribuir nos reparos e modificações, com um olhar de melhoria na qualidade e produtividade (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Ben-Daya *et al.* (2009) mostram o modelo de implementação da TPM, um *framework*, dividido em três fases, ilustrado no Quadro 3.

A primeira fase consiste em iniciativas necessárias para ajudar a direcionar as preocupações dos empregados em relação à implementação da TPM, alinhar o programa aos objetivos organizacionais, assegurar o desenvolvimento de um efetivo *roadmap* e criar um ambiente organizacional favorável para sua implementação.

Exemplos de iniciativas podem ser o empoderamento dos empregados para tomada de decisão, o treinamento de novas habilidades para aprimoramento contínuo das atividades, a adoção de sistemas computadorizados para auxílio da gestão da manutenção e a preocupação com a visualização no ambiente, com demarcação das áreas e rótulos apropriados dos equipamentos e ferramentas.

A segunda fase consiste no desenvolvimento da maturidade do programa, relacionado à adoção da manutenção autônoma, às manutenções planejadas, à elevação da qualidade da manutenção, à adoção de escritórios focados exclusivamente para a implementação e manutenção da TPM, ao foco na segurança, na saúde e no meio ambiente, ao desenvolvimento dos gestores e à adoção de ferramentas de auxílio à gestão e aplicação de um *benchmarking* em busca de novos instrumentos e formas de aprimoramento dos processos de manutenção.

A terceira e última fase consiste na sustentabilidade das práticas de TPM na organização, na aplicação de práticas *lean* e na utilização de indicadores chave de desempenho.

Quadro 3: Framework para implementação da Manutenção Produtiva Total

Fase I – Introdução da TPM	Fase II – Implementação das iniciativas TPM	Fase III – Padronização da TPM
Comprometimento da alta gestão	Manutenção autônoma	Sustentabilidade das iniciativas
Gestão de sucesso para transformação cultural	Foco na melhoria contínua	
Maior poder de decisão para os empregados	Manutenção planejada	
Melhoria contínua e Kaizen	Padrão de qualidade	Aplicação de práticas <i>Lean</i>
Treinamentos	Equipe TPM	
Trabalho em equipe	Segurança, saúde e meio ambiente	Indicadores de desempenho
Sistema computadorizado para gestão da manutenção	Desenvolvimento dos gestores	
Preocupação com a visualização do local de trabalho	Ferramentas para gestão e <i>Benchmarking</i>	

Fonte: Adaptado de Ben-Daya *et al.* (2009)

Manutenção Baseada em Condição (CBM), também conhecida como manutenção preditiva, é aquela que se utiliza de controle e monitoramento dos dados do equipamento, para, assim, obter um relatório de deterioração e avisos para que se possa prever uma falha, e, como consequência, permitir a elaboração de um planejamento de manutenção mais preciso (GARG; DESHMUKH, 2006).

Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) pode ser entendida como uma estratégia de excelência de manutenção. Várias técnicas são utilizadas para se garantir a confiabilidade dos equipamentos, com times multidisciplinares e especialistas que avaliam e

discutem a melhor abordagem de manutenção de cada equipamento estudado (SIFONTE; REYES-PICKNELL, 2017).

Segundo Ben-Daya *et al.* (2009), o modelo RCM surgiu em 1960 e foi primeiramente utilizado no planejamento da manutenção de aviões do governo. Trata-se de um processo logicamente estruturado para desenvolvimento ou aprimoramento dos requisitos de manutenção de um recurso físico em seu contexto operacional para alcançar o nível de confiabilidade adequado por meio de um programa de manutenção efetivo. Muitas ferramentas são utilizadas para a aplicação desse modelo. Uma das mais empregadas é a Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA).

Cada um dos modelos de gestão de manutenção apresentados possui características que permitem a adoção de ferramentas e processos de inovação e coloca a gestão da manutenção a patamares de maior eficiência e eficácia.

1.6 Indicadores de desempenho

Um processo de gestão envolve planejar, executar e monitorar o desempenho organizacional. O indicador de desempenho é uma ferramenta utilizada para medir a eficiência alcançada no processo, as metas a serem atingidas, que podem ser relacionadas ao tempo, qualidade e custos (LEVITT, 2011).

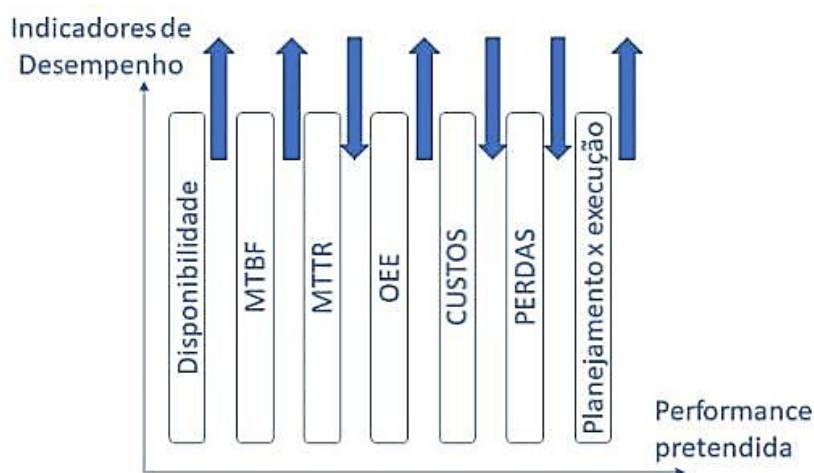
Os principais fatores que justificam a implementação de indicadores de desempenho na área de manutenção são o valor gerado pela atividade no negócio, elevado investimento, revisão da alocação dos recursos, aspectos de segurança e saúde, gestão do conhecimento, adaptação a novas tendências em estratégias de operação e manutenção e estruturação de mudanças organizacionais (SIMÕES; GOMES; YASIN, 2011).

A necessidade de dados confiáveis para análise e auxílio na tomada de decisão torna-se um problema real quando a empresa necessita melhorar o seu rendimento e desempenho operacional. As informações vitais são extraídas do processo de manutenção com a finalidade de monitorar os níveis de manutenibilidade e confiabilidade (SIFONTE; REYES-PICKNELL, 2017).

No geral, indicadores são medições numéricas sobre o processo que se deseja controlar. Na área de manutenção, por exemplo, são incluídos indicadores de disponibilidade, custos, produção, perdas, retrabalho, média de tempo entre falhas (MTBF), média de tempo entre reparo (MTTR) e a eficiência global do equipamento (OLIVEIRA; LOPES; FIGUEIREDO, 2012).

Na Figura 5 são ilustrados alguns indicadores de desempenho e como sua performance é esperada. As setas indicam a direção de crescimento desejada do indicador. Como exemplo, a disponibilidade, o MTBF (média de tempo entre falhas) e o OEE (Efetividade Global do equipamento) possuem uma seta para cima, que indica quanto maior o seu valor, melhor. O MTTR (média de tempo entre reparo), custos e perdas dos processos de manutenção possuem uma seta para baixo, que indica quanto menor os seus valores, melhor (GARG; DESHMUKH, 2006).

Figura 5: Proposta de modelos de indicadores para manutenção



Fonte: Adaptado de Oliveira; Lopes e Figueiredo (2012)

Gestores de manutenção frequentemente possuem acesso a muitos dados, mas raramente recebem a informação que realmente necessitam. Isso significa que o processamento dos dados para obter informações úteis de gestão é muito importante para a qualidade do processo (GARG; DESHMUKH, 2006).

A elaboração de corretos indicadores chave de performance, em inglês *Key Performance Indicator* (KPI), que sejam alinhados aos objetivos da organização é necessária para que ocorram o aprimoramento e o conhecimento do sistema, bem como para que seja definida a sua interrelação com os objetivos organizacionais, processos e deveres, e podem ser analisados por meio de um *framework* para a modelagem organizacional (AMOS; MUSA e AU-YONG, 2019).

Conforme o Quadro 4, abaixo citado, Parida e Chattopadhyay (2007) apresentam um *framework* multicritério para indicadores de desempenho de manutenção.

Quadro 4: *Framework* Multicritério para indicadores de desempenho de manutenção

Processo de Saída		Nível hierarquico/ Multicritério	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Entrega			Estratégico/Alta Gestão	Tático/Média Gestão	Operacional funcional
Qualidade					
↑ Saúde e Segurança		Equipamento	Capacidade de utilização	Disponibilidade	Taxa de produção
				Produtividade	Defeitos Retrabalhos
				Qualidade	Paradas Downtime
				Número de paradas	Vibração e termografia
Efetividade externa Cliente Stakeholders	↔	Custo	Orçamento e Despesas	Custo de produção por ton.	Custo de manutenção por ton.
Compliance			Retorno sobre investimento (ROI)	Custo de manutenção	
(Regulações)		Tarefas de manutenção	Custo da Tarefa	Qualidade da tarefa	Mudança com o tempo
↑ ↕ ↓				Planejamento de tarefas	Tarefas Planejadas
				Tarefas não planejadas	Tarefas não planejadas
Efetividade Interna Confiabilidade		Aprendizado crescimento e inovação	Geração de ideias Aprimoramento de habilidades e treinamentos	Geração de ideias Aprimoramento de habilidades e treinamentos	Geração de ideias Aprimoramento de habilidades e treinamentos
Produtividade		Satisfação do Cliente	Número de reclamações	Número de reclamações	Número de reclamações
Eficiência			Feedback positivo	Feedback positivo	Feedback positivo
Crescimento e Inovação			Satisfação do cliente	Satisfação do cliente	Satisfação do cliente
↓			Relação do cliente	Nova adição de cliente	
		Saúde, Segurança e meio ambiente	Número de acidentes	Número de acidentes	Número de acidentes
			Número de casos legais	Número de casos legais	
Processo de Entrada			Perdas em saúde e ambiente	Perdas em saúde e ambiente	Reclamações em saúde e ambiente
Estabilidade no processo			Reclamações em saúde e ambiente	Reclamações em saúde e ambiente	
Cadeia de suprimentos		Satisfação do colaborador	Satisfação	Taxa de desligamento de empregados	Absenteísmo
Saúde e Segurança			Reclamações	Reclamações	Reclamações

Fonte: Adaptado de Parida e Chattopadhyay (2007)

Em um sistema multicritério de medição de desempenho, existe um número de critérios ou objetivos que precisam ser considerados por visões de diferentes *stakeholders*, internos e externos. Esse critério pode ser desmembrado em diferentes indicadores de manutenção, como o tempo médio entre falhas, tempo de parada, custos de manutenção, atividades de manutenção planejada e não planejada, entre outros. Os indicadores precisam estar integrados desde o nível operacional até o nível estratégico da organização.

O *framework* apresentado no Quadro 4 foi projetado para ser balanceado, considerar diferentes critérios do ponto de vista holístico de toda a organização e integrado como uma estrutura lógica de causa e efeito para alcançar uma efetividade total da manutenção com atenção tanto à efetividade externa quanto à interna.

Os aspectos internos e externos, que atuam como parte do início ou final do processo, precisam ser analisados antes de decidir a relevância do critério, levando em consideração a medição de desempenho da manutenção em vários níveis organizacionais.

O processo de saída é derivado das necessidades dos *stakeholders* externos, como proprietários, financiadores, clientes, fornecedores e autoridades regulatórias. Com isso, as necessidades do processo de saída podem incluir maior produtividade, melhores índices de saúde e segurança, entrega no tempo correto e atendimento de padrões de qualidade.

O processo de entrada é derivado dos aspectos internos, como a capacidade e a capacitação da organização, os departamentos incluídos no processo, a requisição dos empregados, o clima organizacional e o desenvolvimento de habilidades. São considerados processos de entrada redução de custos, retenção de mão de obra e inovação, busca de estabilidade no processo, cadeia de suprimentos e atendimento a requisitos de saúde e segurança.

Uma estrutura lógica de causa e efeito foi criada para identificar e decidir os diferentes indicadores de desempenho da manutenção. A estrutura proposta foi projetada para ser equilibrada, considerando diferentes critérios holísticos de todo ponto organizacional com vista a alcançar maior eficiência e eficácia nos processos de manutenção.

A estrutura hierárquica vincula vários indicadores de desempenho, e os aspectos internos e externos precisam ser analisados antes de decidir quais critérios serão considerados para medição de desempenho da manutenção.

Aprendizado, crescimento e inovação aparecem como os únicos critérios com a mesma abordagem em todos os níveis hierárquicos para garantir o balanceamento do *framework* e fazer com que as modificações nos processos sejam aderidas e sedimentadas pelas equipes.

1.7 Manutenção Centrada em Confiabilidade

O aumento na demanda por produtos e sistemas de melhor desempenho a custos competitivos criou a necessidade de redução na probabilidade de falhas em produtos e ênfase crescente em sua confiabilidade, que corresponde à probabilidade de o produto desempenhar adequadamente o seu propósito, por tempo e condições ambientais predeterminados (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

A análise de confiabilidade é essencial em estudos de risco e segurança. Em uma análise de risco, por exemplo, a análise de causas é normalmente realizada usando técnicas de confiabilidade, como a análise de modos e efeitos de falhas (FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*) e a análise da árvore de falhas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

A confiabilidade pode ser considerada, em diversas situações, como uma importante característica de qualidade a ser considerada no projeto e na otimização de produtos e processos. Dessa forma, muita atenção vem sendo dada à incorporação de técnicas de gestão e garantia da confiabilidade nos programas de garantia da qualidade e para implantação de normas como a ISO 9000 (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Muitas indústrias (em particular as de manufatura e aquelas em que riscos humanos estão potencialmente envolvidos com falhas na manutenção, como é o caso da indústria de aviação e nuclear) têm percebido a importante conexão existente entre manutenção e confiabilidade e adotado programas de manutenção centrados em confiabilidade (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Segundo os autores, estudos de confiabilidade podem ser usados na otimização e controle ambiental, atuando na operação de sistemas inibidores de poluição, limpeza de dejetos líquidos e de emissões gasosas.

A Figura 6 mostra o gráfico de banheira, que demonstra o ciclo de vida de um produto ou processo. A fase de mortalidade infantil é caracterizada pelas deficiências no processo de manufatura de um produto, que levam a falhas precoces e se concentram no início de sua vida.

As falhas ocorridas na fase de vida útil geralmente ocorrem devido a condições extremas no ambiente de operação do produto. Por fim, a fase de envelhecimento é caracterizada por falhas ocorridas devido desgaste e deterioração.

Figura 6: Curva da banheira



Fonte: Adaptado de Fogliatto e Ribeiro (2011)

A FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha) tem como objetivo reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas e documentar o estudo para criar um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros de projetos ou processos (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

A ferramenta foi desenvolvida em 1949 pela indústria militar americana e, em 1960, o programa Apollo da Nasa foi pioneiro no desenvolvimento e evolução do FMEA.

Em 1985, foi lançada a IEC – 60812 (*Analysis Techniques for System Reliability – Procedure for failure Mode and Effects Analysis - FMEA*) e, em 1994, a SAE (*Society of Automotive Engineers*) publicou a norma SAE J1739, que define a forma como a FMEA deve ser realizada. A FMEA foi disseminada na indústria automotiva com o surgimento da QS9000, criada pela Ford, GM e Chrysler. Em 2006, a QS9000 foi substituída pela ISO TS 16949, o que tornou a FMEA passível de auditoria.

Em 2019, foi lançada a versão mais atualizada do manual de referência para aplicação do FMEA, que veio da junção da AIAG (*Automotive Industry Action Group*) e VDA (*Verband der Automobilindustrie*).

Uma equipe multidisciplinar deve ser responsável pelo desenvolvimento do FMEA e deve incluir um facilitador e especialista do método. O líder do programa deve selecionar membros da equipe com experiência relevante e com a autoridade necessária. Na Figura 7, ilustram-se os tópicos de desenvolvimento de um FMEA, de acordo com a quarta edição do FMEA - *Reference Manual*.

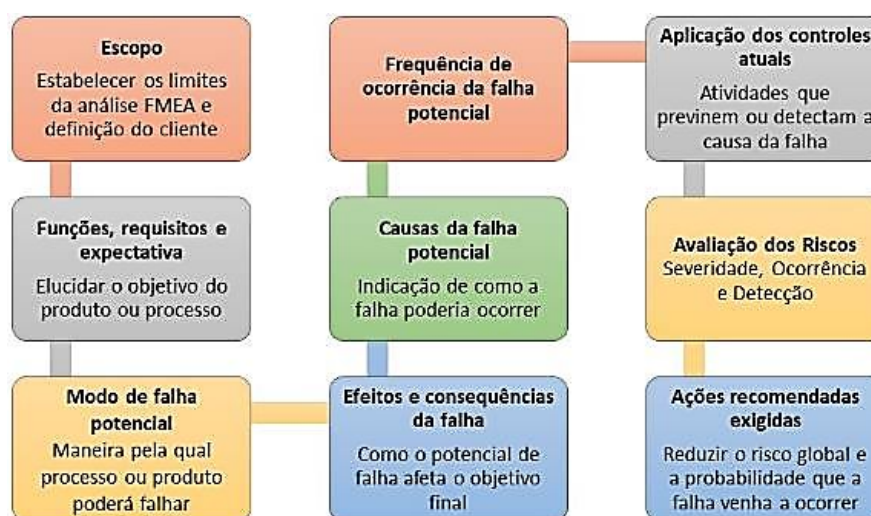
O primeiro tópico consiste na definição de um escopo que estabeleça os limites da análise, quais sistemas serão abordados, a definição dos clientes, os processos de fabricação e reguladores internos e externos. Em seguida, é necessário identificar e compreender as funções, requisitos e especificações importantes para o escopo definido para definir o objetivo do projeto ou processo.

Na sequência, verifica-se a análise de falha potencial, que é a identificação de como o produto ou processo poderia falhar em atender o seu objetivo, do impacto no cliente final, das suas causas e da frequência com que essa falha possa ocorrer.

A aplicação de controles atuais é uma atividade que previne ou detecta a causa ou modo de falha, seguida pela avaliação de riscos, que é determinada por meio da severidade (nível de impacto da falha no cliente), da ocorrência (qual a frequência que a falha pode ocorrer) e da detecção (poder de detecção da causa de uma falha ou modo de falha).

Por fim, há a aplicação das ações recomendadas após a análise, com o intuito de reduzir o risco global e a probabilidade de ocorrência da falha (AIAG, 2008).

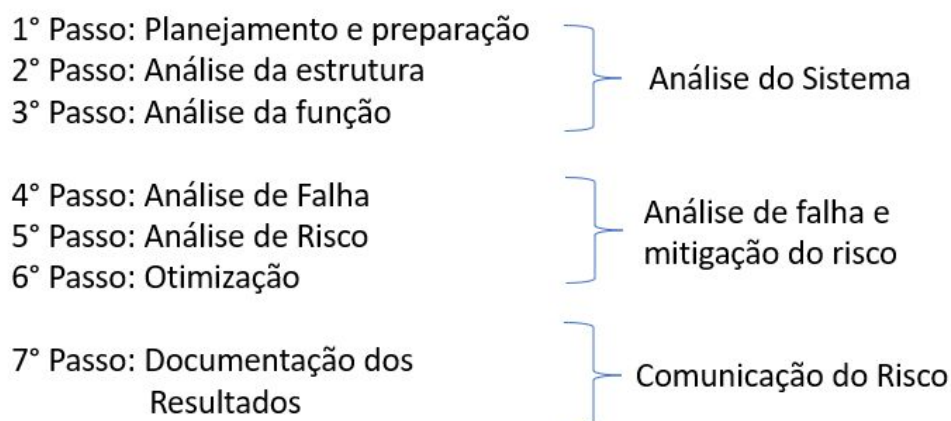
Figura 7: Tópicos para desenvolvimento do FMEA



Fonte: Adaptado do manual FMEA AIAG (2008)

A versão mais recente do manual de referência do FMEA (AIAG e VDA 2019) coloca uma abordagem de sete passos para a aplicação da ferramenta, que são mostrados na Figura 8.

Figura 8: Abordagem sete passos do FMEA



Fonte: Adaptado do manual FMEA AIAG e VDA (2019)

O primeiro passo é o planejamento e preparação, em que precisam ser definidos o motivo pelo qual a ferramenta deve ser aplicada, a data de conclusão, os integrantes da equipe, os objetivos da atividade e os meios necessários para sua execução. A etapa tem como propósito descrever quais produtos e processos serão incluídos ou excluídos para análise. Possui como objetivos identificar e definir o projeto, definir a intenção, cronograma, equipe, tarefas, ferramentas e limites de análise.

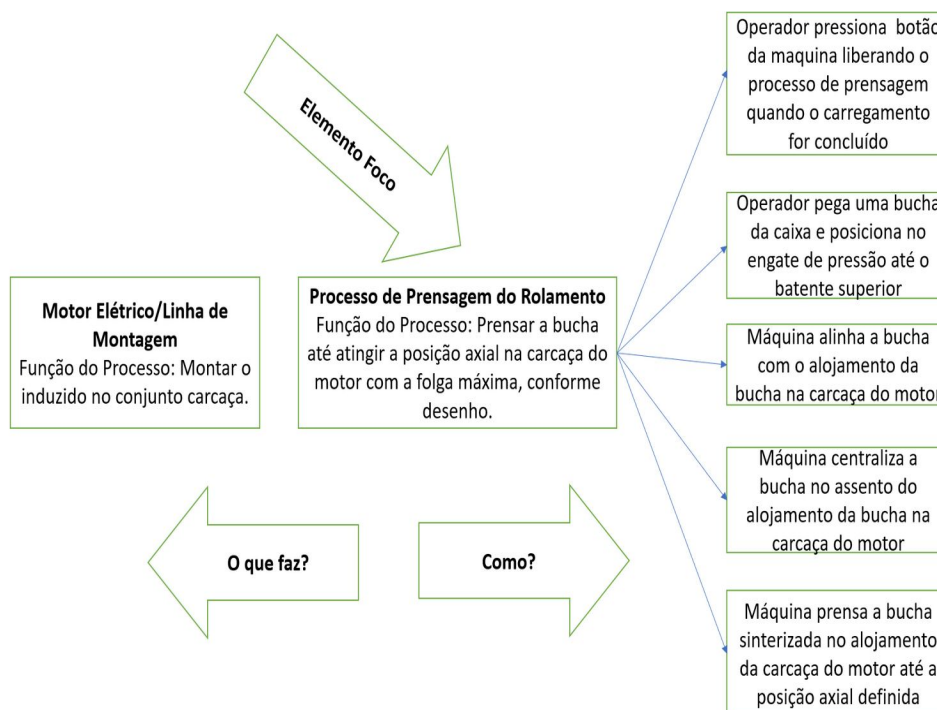
O segundo passo é a análise de estrutura, que identifica e divide os processos analisados em itens, etapas e elementos de trabalho. Esta etapa tem como principais objetivos a visualização do escopo de análise, o fluxograma do processo, a identificação de etapas e sub etapas do processo, a colaboração entre equipes de engenharia, clientes e fornecedores, e o fornecimento de base para etapa de análise da função.

O terceiro passo, análise de função do processo, tem como objetivo garantir que as funções ou requisitos pretendidos do produto ou processos sejam apropriadamente alocados.

Os principais objetivos de uma análise de função do processo são a visualização das funções do produto ou processo, árvore de função ou fluxograma do processo equivalente e associação dos requisitos das funções.

A Figura 9 mostra o exemplo de uma árvore de estrutura de funções em um processo de prensagem do rolamento do induzido (rotor ou parte móvel) de um motor elétrico. Essa etapa é importante para a equipe conseguir visualizar os detalhes das etapas do processo e a função do colaborador ou máquina que realiza a atividade.

Figura 9: Exemplo de árvore de estrutura de funções



Fonte: Adaptado do manual FMEA AIAG e VDA (2019)

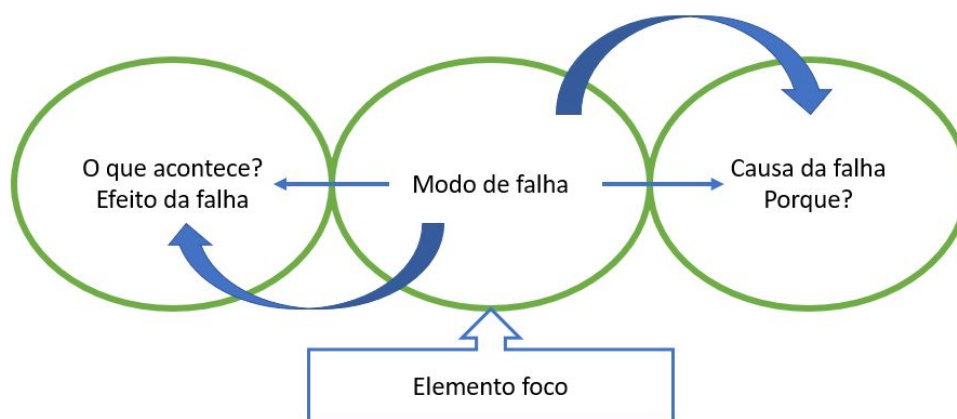
O quarto passo, análise de falha de processo, tem como propósito identificar causas, modos e efeitos da falha, e mostrar suas relações para permitir a avaliação do risco.

Os principais objetivos de uma Análise de Falhas de Processo são a definição da cadeia de falha, os potenciais efeitos da falha, os modos de falha e causas de falha, a identificação das causas potenciais de falha no processo e o fornecimento de base para documentação do relatório que deverá ser gerado após as análises.

As falhas de uma etapa do processo são deduzidas das características do produto e do processo. Exemplos incluem as não conformidades, as tarefas executadas parcialmente ou inconsistentemente e a atividade não intencional.

Existem três aspectos a serem considerados: Efeito da Falha; Modo de Falha; Causa da Falha, ilustrados na Figura 10.

Figura 10: Cadeia da falha



Fonte: Adaptado do manual FMEA AIAG e VDA (2019)

Efeitos da falha estão relacionados às funções do item do processo (sistema, subsistema, elemento da peça ou nome do processo), e são descritos em termos do que o cliente poderia perceber ou experimentar.

Falhas que poderiam afetar a segurança ou causar uma não conformidade com os regulamentos, devem ser identificadas claramente no FMEA.

Modo de falha é definido como a maneira pela qual o processo poderia fazer com que o produto não seja expedido ou não forneça a função pretendida. Portanto, os modos de falha deveriam ser descritos em termos técnicos, não como um sintoma percebido pelo cliente.

A verificação de que os modos de falha estão completos pode ser feita por meio de uma análise das “Coisas que deram Errado” (*Things-Gone-Wrong*) no passado, relatórios de rejeitos ou sucata e *brainstorming* em grupo.

As fontes para isto também devem incluir uma comparação de processos similares e uma análise das reclamações do cliente (usuário final e operações subsequentes) relacionadas a componentes similares.

Existem várias categorias de modos de falha potenciais como perdas de função do processo, operação incompleta, degradação da função, execução em excesso da função, função intermitente, operação instável, função não intencionada e atraso na função.

Podem ser colocados como exemplo de modo de falha: furo com profundidade menor, superfície suja, pinos do conector desalinhados, etiqueta ausente, código de barras ilegível ou gravação de software errada no módulo.

Uma causa da falha é uma indicação do porquê o modo de falha poderia ocorrer. A consequência de uma causa é o modo de falha e deveria ser listada da forma mais concisa e

completa possível, para que os esforços corretivos (controles e ações) possam ser direcionados às causas apropriadas.

Podem ser colocados como exemplo de causa de falha: máquina ou equipamento, mão de obra, material utilizado e condições ambientais adversas, como poeira, iluminação, ruído e calor.

O quinto passo da aplicação do FMEA é a análise de risco, que tem como propósito estimar o risco avaliando sua severidade, ocorrência e detecção, para posterior priorização de ações. Para o controle dos riscos, existem os atuais de prevenção e os atuais de detecção.

Os controles atuais de prevenção facilitam o planejamento ideal do processo e minimiza a possibilidade de ocorrências de falhas. A manutenção preventiva dos equipamentos, manutenção autônoma e controles das máquinas são exemplos de controles atuais de prevenção.

Controles atuais de detecção detectam a existência de uma causa da falha ou modo de falha, por métodos automatizados ou manuais, antes que o item deixe o processo ou seja enviado ao cliente. Como exemplo, podem-se citar inspeções visuais, *check-list* e verificação dimensional.

O FMEA recomenda a utilização de três critérios de pontuação para o risco: a Severidade, Ocorrência e Detecção.

A Severidade (S) é um número de pontuação ao efeito da falha mais grave para um determinado modo de falha para a etapa do processo estudado. Deve ser estimada com a utilização da tabela de Severidade disponibilizada no manual de referência do FMEA.

A Ocorrência (O) descreve a ocorrência da causa da falha no processo, e leva em consideração os controles atuais de prevenção. Descreve o potencial da causa de falha ocorrer, de acordo a tabela de pontuação disponibilizada no manual de referência do FMEA.

Detecção (D) é a pontuação associada à previsão do controle de processo mais efetivo dos controles listados, do tipo “detecção”. Deve ser estimada utilizando a tabela disponibilizada no manual de referência do FMEA.

Após o time concluir a identificação dos modos de falha, efeitos de falha, causas e controles e incluir as pontuações de Severidade, Ocorrência e Detecção, é necessário realizar uma avaliação criteriosa sobre os esforços necessários para redução do risco, como limitação a recursos, tempo, tecnologia e outros fatores.

Para isso, é utilizado um método chamado Prioridade de Ação (PA). Esse método foi criado para dar ênfase primeiramente à severidade, depois à ocorrência e em seguida à detecção. Esta lógica segue a intenção de prevenção de falhas no FMEA.

A tabela PA, disponibilizada no manual de referência do FMEA, oferece uma prioridade alta-média-baixa sugerida para ação.

Na prioridade alta e média, a equipe precisa identificar uma ação apropriada para melhorar os controles de prevenção e ou detecção ou justificar e documentar o motivo dos controles atuais serem adequados. A prioridade baixa exige da equipe um olhar de melhorias dos controles de detecção.

A otimização de processos, o passo 6 da implantação do FMEA, tem como propósito determinar ações para mitigar riscos e avaliar a eficácia das ações.

Essa etapa tem como principais objetivos a identificação das ações necessárias para reduzir os riscos, atribuição de responsabilidades e prazos para implementação das ações, implementação e documentação das ações tomadas, incluindo a confirmação de eficácia das ações implementadas e avaliação de risco após ações tomadas, colaboração entre a equipe de FMEA, gerência, clientes e fornecedores em relação às falhas potenciais e base para o refinamento dos requisitos do produto e/ou processo e controles de prevenção e detecção.

Por fim, o passo 7 é a etapa de documentação dos resultados. Tem como propósito resumir e comunicar os resultados da atividade do FMEA.

Os principais objetivos são a comunicação dos resultados, definição do conteúdo documentado e registro de análise e redução para níveis aceitáveis de risco.

O relatório gerado pode incluir como conteúdo a declaração da situação final em comparação com as metas originais estabelecidas no plano do projeto, resumo do escopo da análise e identificação do que é novo, resumos de como as funções foram desenvolvidas, prioridades de ação, ações tomadas e um plano de compromisso com o prazo das ações em andamento para melhoria do FMEA.

Para facilitar a implementação de um FMEA efetivo, a pessoa designada para conduzir o projeto deve estimular o time com atividades de *brainstorming*, participação e escuta ativa, controle de discussões e gestão de conflitos, gerenciamento do tempo e nível de detalhe da análise e estimular a criatividade da equipe (CARLSON, 2012).

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesse capítulo, apresentam-se os passos trilhados para a execução desta dissertação.

2.1 Ambiente da pesquisa

Para a elaboração da pesquisa, foi escolhida uma operadora de trens metropolitanos do Estado de São Paulo devido à conveniência de o autor ser funcionário da empresa.

A empresa, fundada em 1992, possui 57 estações operacionais e atende 18 municípios pertencentes a região da grande São Paulo. Essas estações estão distribuídas em três linhas operacionais, que somadas possuem 146 quilômetros de extensão e transportam em média 769.301 passageiros diariamente.

Para atender a demanda de passageiros, a empresa tem à disposição 88 trens, divididos em modelos e fabricantes diferentes. Dependendo do modelo do trem, sua manutenção é realizada por mão de obra própria ou por empresas terceirizadas, por meio de contratos de prestação de serviços.

São realizados os serviços de manutenção preventiva e corretiva, além de equipes de suporte à manutenção, como equipe de controle de qualidade, fiscalização, controle do pátio de manutenção e serviços administrativos.

O total de funcionários envolvidos no setor de manutenção de trens metropolitanos são descritos no Quadro 5.

Quadro 5: Número de funcionários na oficina de Manutenção de Trens

Manutenção própria	Total	155	Manutenção Terceirizada	Total	209
	Administrativo	6		Empresa 1	49
	Controle do pátio	12		Empresa 2	52
	Manutenção corretiva	45		Empresa 3	58
	Manutenção preventiva	57		Empresa 4	50
	Qualidade e Fiscalização	35			

Fonte: Dados da empresa

Os serviços de manutenção são realizados em um galpão localizado no centro da cidade de São Paulo, local em que a pesquisa foi conduzida. O ambiente é ilustrado na Figura 11.

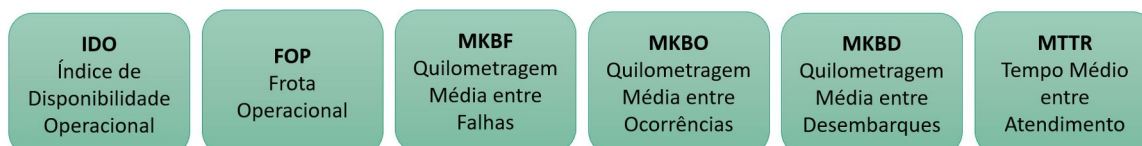
Figura 11: Oficina de Manutenção de Trens



Fonte: Dados da empresa

Para monitorar o desempenho dos serviços de manutenção, a gerência de manutenção conta com alguns indicadores, ilustrados na Figura 12.

Figura 12: Indicadores de Manutenção de Trens Metropolitanos



Fonte: Dados da empresa

O Índice de Disponibilidade Operacional (IDO) relaciona a quantidade de trens disponíveis com a quantidade mínima necessária para operação nos horários de pico, entendidos como os horários com maior número de passageiros, e é calculado por meio da Equação (1).

$$IDO = \frac{Td}{No} * 100\% \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

Td = Número de trens disponíveis

No = Necessidade Operacional

O índice de Disponibilidade da Frota Operacional (FOP) relaciona a quantidade de trens disponíveis nos horários de pico com a quantidade de trens operacionais, calculado conforme a Equação (2).

$$FOP = \frac{Td}{No} * 100\% \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

Td = Número de trens disponíveis

To = Trens Operacionais

O tempo médio para reparo (MTTR) tem como objetivo medir o tempo de atuação das falhas ocorridas nos trens e calculado conforme a Equação (3).

$$MTTR = \frac{\sum Ts}{\sum Fs} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$\sum Ts$ = Total de tempo de atuação das falhas sistêmicas da frota de trens

$\sum Fs$ = Total das falhas sistêmicas da frota de trens

A quilometragem média percorrida entre falhas (MKBF) tem como objetivo medir o desempenho da frota em quilômetros rodados pela quantidade de falhas sistêmicas, calculado conforme a Equação (4).

$$MKBF = \frac{\sum Km}{\sum Fs} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$\sum Km$ = Total dos quilômetros rodados

$\sum Fs$ = Total das falhas sistêmicas

A quilometragem média percorrida entre ocorrências (MKBO) tem como objetivo medir o desempenho da frota em quilômetros rodados pela quantidade de ocorrências operacionais, entendidas como falhas que prejudicam diretamente a viagem do usuário, calculada conforme a Equação (5).

$$MKBO = \frac{\sum Km}{\sum Oc} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

$\sum Km$ = Quilometragem da frota

$\sum Oc$ = Ocorrências da frota

A quilometragem média percorrida entre desembarques (MKBD) tem como objetivo medir o desempenho da frota em quilômetros rodados pela quantidade de falhas que não possibilitaram o prosseguimento da viagem e geraram desembarques de usuários em via ou plataforma, calculado conforme a Equação (6).

$$MKBD = \frac{\sum Km}{\sum SP} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

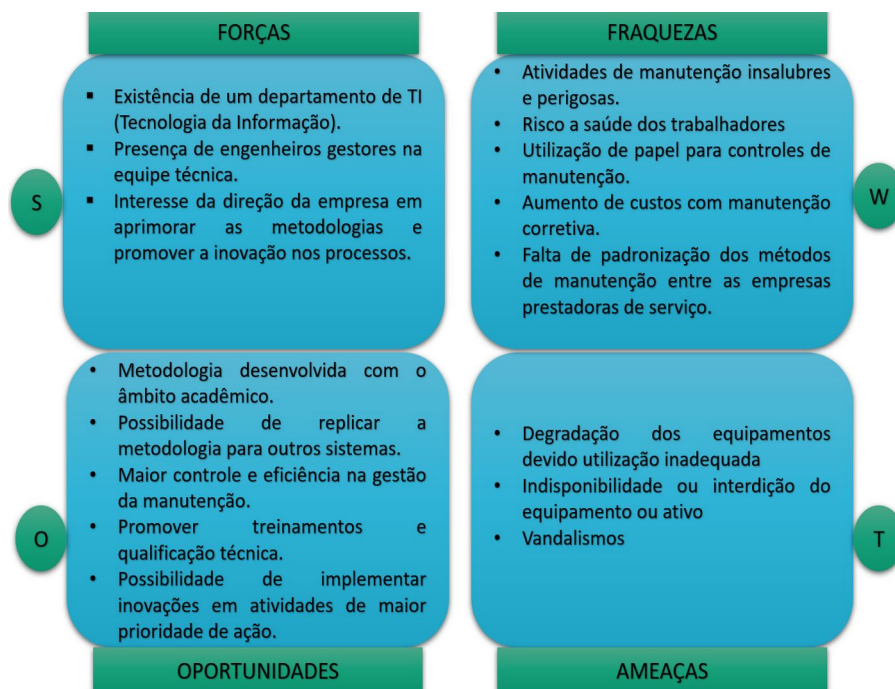
$\sum Km$ = Quilometragem da frota

$\sum SP$ = Desembarques da frota

Na fase preliminar do estudo, foi aplicada a matriz FOFA, que segundo Fernandes (2012), é uma técnica de planejamento estratégico utilizada para auxiliar pessoas ou organizações a identificar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças relacionadas com a competição em negócios ou planejamento de projetos.

A matriz foi elaborada em conjunto com os gestores de manutenção da empresa, para avaliação do seu ambiente interno e externo, conforme ilustrada na Figura 13.

Figura 13: Matriz FOFA



Fonte: Adaptado de Fernandes (2022)

Após discussão e desenvolvimento da Matriz FOFA, foi possível perceber forças e oportunidades para desenvolvimento e aplicação do estudo. As principais foram: a empresa possuir engenheiros gestores na área de manutenção, um departamento de tecnologia da informação para auxílio no desenvolvimento de novos processos, interesse da direção da empresa em aprimorar os processos de manutenção, a parceria de desenvolvimento da pesquisa com o Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETEPS) e a possibilidade de replicar a modelo construído em outros sistemas e setores de manutenção da empresa.

Também foi realizado um *workshop* com cinco gestores do setor de manutenção de trens metropolitanos, sendo o chefe de departamento de manutenção de trens, dois engenheiros de manutenção e dois supervisores de manutenção. Na dinâmica foi apresentado o conceito da Análise de Modos e Efeitos de Falha e do *Design Thinking*.

O *feedback* foi positivo em relação a aplicação do FMEA para análise dos processos pois é uma ferramenta difundida e consagrada nos sistemas produtivos que ainda não era utilizada pela empresa.

O *Design Thinking* como abordagem nos projetos de melhoria também foi bem aceito pelos gestores, devido a empresa estar treinando colaboradores para utilização da abordagem nos projetos de melhoria de processos internos.

2.2 Análise Bibliométrica

Para atingir o objetivo proposto, o estudo foi iniciado com uma análise bibliométrica sobre os tópicos abordados, seguido pela seleção de referências relevantes sobre os temas.

Bibliometria, segundo Pritchard (1996), é a aplicação de métodos matemáticos e estatísticos a livros e outros meios de comunicação, como artigos científicos. Tem como objetivo sistematizar as pesquisas mapeando as origens dos conceitos existentes e apontando as principais lentes teóricas existentes em cada assunto (ARAÚJO, 2006).

Após definir o objetivo da pesquisa e sua questão problema “Como aumentar a eficiência e desempenho dos serviços de manutenção de trens metropolitanos por meio da inovação na gestão contínua de manutenção?”, buscou-se definir os temas que seriam necessários para o embasamento teórico da dissertação: Gestão de Facilidades, Gestão da Manutenção, Medição de Desempenho e Inovação.

A fim de obter um conjunto abrangente de artigos, foi utilizado o banco de dados da *Web of Science*, com os termos de busca (“*Facilit* management*” or “*Facilit* maintenance*” or “*maintenance management*”) and (“*performance measure**”) and (“*innovat**”), sendo encontrados 1253 arquivos brutos.

Em seguida, foi realizada uma busca na base de dados do *Google Scholar*, utilizando o software de buscas *Publish or perish*, com os termos de busca (“Gestão de facilidades”, “inovação”, “manutenção”), sendo encontrados 54 arquivos brutos.

Na etapa seguinte, foram reunidos os 1301 artigos encontrados e foi utilizado o software *EndNote* como ferramenta de auxílio para análise e revisão dos documentos, seguindo os critérios de exclusão descritos no quadro 6.

Quadro 6: Critérios de exclusão dos artigos encontrados

Critérios de exclusão

Documentos duplicados, com o mesmo conteúdo, mas com títulos diferentes;
Documento não encontrado de forma gratuita para leitura;
Artigo possui somente título e resumo em inglês ou português, mas o restante do texto está escrito em outros idiomas;
Artigo está sem o texto completo para leitura;
Artigo não é acadêmico
Artigo não possui em seu resumo, ligação com o tema proposto;
Documento utiliza Gestão de Facilidades e manutenção somente como uma expressão citada;
Documento utiliza Gestão de Facilidades e manutenção somente em palavras-chave ou referências.

Fonte: Autor (2022)

A utilização dos critérios de exclusão resultou em 172 documentos. Em seguida, foi realizada uma revisão das citações dos documentos, em busca de informações sobre a Gestão da Manutenção, Gestão de Facilidades, os seus principais modelos e indicadores de desempenho.

2.3 Design Science Research

Essa dissertação classifica-se como uma pesquisa científica aplicada, e seu objetivo é gerar conhecimento que possa ser utilizado na área de manutenção de trens metropolitanos ou correlatas.

O método de pesquisa utilizado foi o *Design Science Research* (DSR), que, segundo Dresh, Lacerda e Antunes (2013), é a ciência orientada para geração de conhecimento, visando projetar e desenvolver soluções para aprimorar sistemas existentes ou criar artefatos que melhorem a atuação humana na sociedade ou nas empresas. Este método é adequado ao objetivo principal desse trabalho que é propor um modelo de Gestão de Manutenção de uma companhia de trens metropolitanos.

A Figura 14, adaptada de Hevner *et al.* 2007, coloca três ciclos de pesquisa inerentes ao desenvolvimento do DSR: o ciclo da relevância, do rigor e de desenvolvimento.

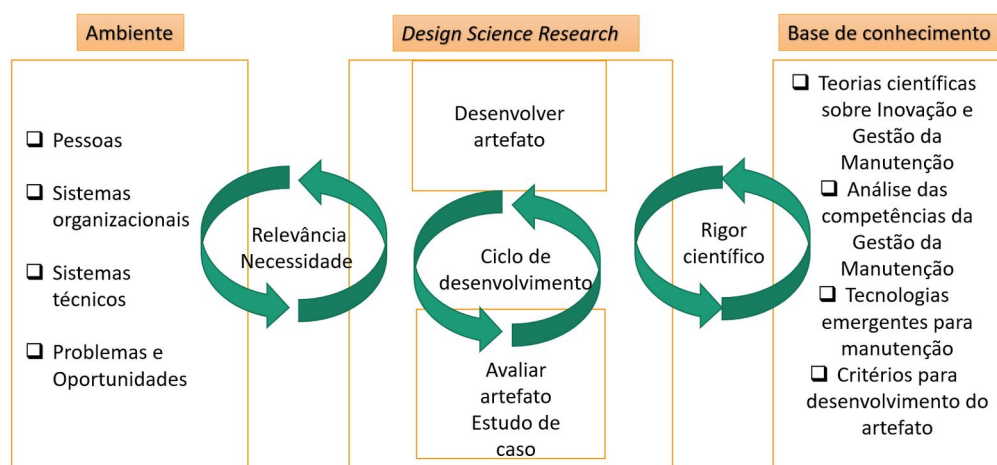
O ciclo de relevância conecta o ambiente contextual do projeto de pesquisa com as atividades da ciência do *design*. Para desenvolvimento do artefato foram consideradas as pessoas envolvidas, sistemas organizacionais e técnicos, avaliação dos problemas e oportunidades da pesquisa.

O ciclo do rigor conecta as atividades da ciência do *design* com a base de conhecimento, fundamentos teóricos e experiência do autor com o tema proposto. Nessa fase, foram buscadas na literatura as teorias científicas sobre a Gestão da Manutenção e inovação e análise de suas competências, modelos de implementação de tecnologias emergentes no setor de manutenção de trens e analisado os critérios para desenvolvimento do artefato.

No ciclo de desenvolvimento, acontece a interação entre as atividades para a construção e avaliação do artefato. Para esse ciclo, foi colocada como foco a estruturação do modelo de gestão e sua avaliação, com a utilização do método de estudo de caso para validação do modelo.

Segundo Cauchik (2007), o estudo de caso é uma pesquisa de natureza empírica que investiga um determinado fenômeno geralmente contemporâneo dentro de um contexto real. A observação de documentos da empresa e entrevistas com as pessoas envolvidas no processo são etapas necessárias para esse tipo de estudo.

Figura 14: Ciclos do *Design Science Research*



Fonte: Adaptado de HEVNER (2007)

A pesquisa foi realizada com base nas premissas de condução estabelecidas por Lacerda *et.al* (2013), que são: a conscientização, a sugestão, o desenvolvimento, a avaliação e a conclusão.

Conscientização significa evidenciar a situação problema, explicitar os ambientes internos e externos, atores envolvidos e interessados no artefato e destacar a classe de problemas.

Sugestão busca explicitar as premissas e requisitos necessários para construção do artefato, registrar o seu desenvolvimento e verificar as possíveis implicações éticas da solução proposta.

Desenvolvimento tem como objetivo justificar a escolha da ferramenta para construção do artefato, mostrar os seus componentes e as relações casuais que geram o efeito desejado.

Avaliação busca explicitar os mecanismos de avaliação do artefato, em avaliações qualitativas para explicitar as partes e limitações, evidenciar o que funcionou e os ajustes necessários para aprimoramento.

Conclusão sintetiza as principais aprendizagens do processo, justifica as conclusões do trabalho para a classe de problemas estabelecida.

Divulgação será dada pela publicação dessa dissertação, bem como artigos elaborados por meio dos resultados da pesquisa em periódicos científicos e revistas especializadas na área de pesquisa.

Com a análise do Quadro 7, pode-se definir o tipo do artefato resultante da pesquisa, como um modelo, criação típica das pesquisas *Design Science*.

Quadro 7: Tipos de artefatos

Tipos de artefatos	Descrição
Constructos	Constructos ou conceitos formam o vocabulário de um domínio. Eles constituem uma conceituação utilizada para descrever os problemas dentro do domínio e para especificar as respectivas soluções. Conceituações são extremamente importantes em ambas as ciências, natural e de design. Eles definem os termos usados para descrever e pensar sobre as tarefas. Eles podem ser extremamente valiosos para designers e pesquisadores.
Modelos	Um modelo é um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos. Em atividades de design, modelos representam situações como problema e solução. Ele pode ser visto como uma descrição, ou seja, como uma representação de como as coisas são. Cientistas naturais muitas vezes usam o termo “modelo” como sinônimo de teoria, ou “modelos” como as teorias ainda incipientes. Na <i>Design Science</i> , no entanto, a preocupação é a utilidade de modelos, não a aderência de sua representação à verdade. Não obstante, embora tenda a ser impreciso sobre detalhes, um modelo precisa sempre capturar a estrutura da realidade para ser uma representação útil.
Métodos	Um método é um conjunto de passos (algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa. Métodos baseiam-se em um conjunto de constructos subjacentes (linguagem) e uma representação (modelo) em um espaço de solução. Os métodos podem ser ligados aos modelos, nos quais as etapas do método são, muitas vezes, utilizadas para traduzir um modelo ou representação em um curso para resolução de um problema. Os métodos são criações típicas das pesquisas em <i>Design Science</i> .
Instanciações	Uma instanciação é a concretização de um artefato em seu ambiente. Instanciações operacionalizam constructos, modelos e métodos. No entanto, em instanciações pode, na prática, preceder a articulação completa de seus constructos, modelos e métodos. Instanciações demonstram a viabilidade e a eficácia dos modelos e métodos que elas contemplam.

Fonte: LACERDA *et al.* (2013).

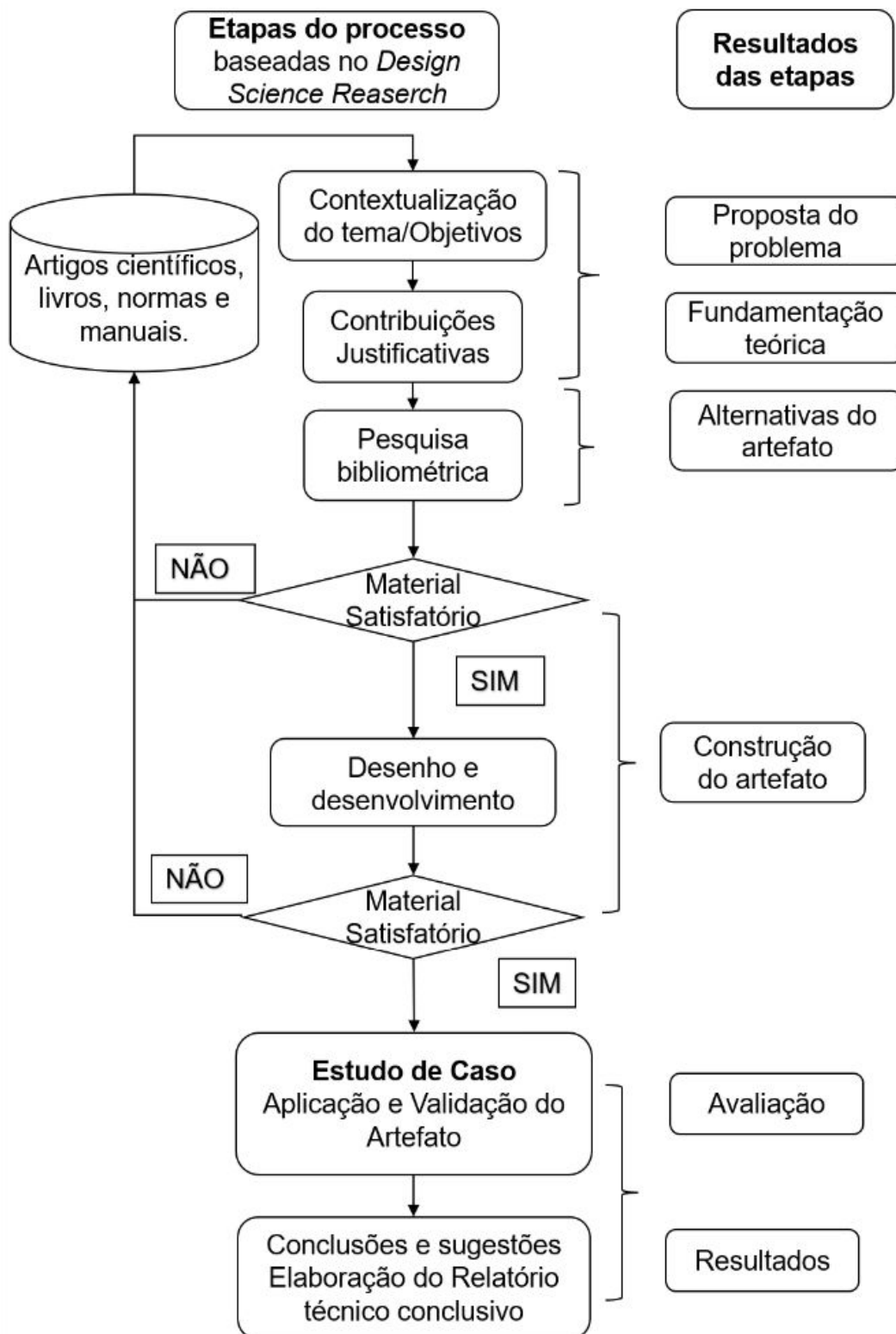
A Figura 15 ilustra de forma geral os passos conduzidos na pesquisa, com o início exploratório e coleta de material teórico para embasamento. Esse material foi encontrado por meio de uma análise bibliométrica, que pôde evidenciar os principais autores, países, trabalhos elaborados sobre o tema, números de citação e relevância dos trabalhos no ramo acadêmico.

Após análise do material, foi possível elaborar a proposta de problema, hipótese e alternativas de artefatos. Em seguida, foi realizada a construção do protótipo do modelo.

Por fim, o modelo foi testado em uma empresa do setor ferroviário, com a utilização do método de estudo de caso, que foi utilizado de forma adaptada para validação do modelo.

Esse estudo permitiu a elaboração de um relatório técnico conclusivo, produto construído com os resultados da pesquisa realizada durante os dois anos do curso de mestrado profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos.

Figura 15: Desenho da pesquisa



Fonte: Autor (2022)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Construção do modelo

Para construção do modelo, foram seguidas as etapas sugeridas pelo método *Design Science Research*, que são: a conscientização, a sugestão, o desenvolvimento, a avaliação e a conclusão.

Na etapa de conscientização, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre os principais modelos de gestão da manutenção, inovação e agregado um conjunto de informações utilizadas como base de conhecimento.

Em seguida, com a utilização do referencial teórico como embasamento, foi sugerido um modelo de gestão da manutenção baseado na aplicação da ferramenta FMEA e o *Design Thinking*.

O modelo foi desenvolvido, conforme ilustrado na Figura 16, com o intuito de agregar as três principais etapas do *Design Thinking* (a inspiração, a ideação e a implementação) com as três principais etapas do FMEA (a análise dos sistemas, a análise das falhas e a comunicação do risco).

Figura 16: Modelo de Gestão de Falhas utilizando-se o FMEA e o *Design Thinking*



Fonte: Adaptado de Brown (2020)

A primeira etapa do modelo tem como objetivo integrar a fase de análise do sistema do FMEA com a fase de inspiração do *Design Thinking*. Para isso, uma equipe

multidisciplinar deve ser escolhida para iniciar o planejamento e preparação do estudo, com a definição dos limites da análise, objetivos, expectativas, análise das estruturas com desenhos e funções dos processos, conforme sugerido pelo manual FMEA AIEG VDA (2019).

Ferramentas e dinâmicas em grupo, como *brainstorming*, podem ser aplicados nessa etapa para auxiliar a equipe no estudo dos processos de manutenção, suas principais funções e falhas.

A segunda etapa do modelo busca agregar a fase de ideação do *Design Thinking* com a avaliação e estudo dos modos de falha do equipamento ou processo.

Uma análise mais detalhada pode ser conduzida, com a definição da frequência de ocorrência da falha, suas causas, consequências, controles atuais de prevenção, análise de riscos e levantamento de alternativas para otimização e melhoria nos processos.

Ferramentas do *design* podem ser utilizadas nessa etapa para aguçar a criatividade do time e propor soluções para as falhas em estudo, como *workshops* de cocriação, *brainstorming*, *benchmarking* e pesquisa documental.

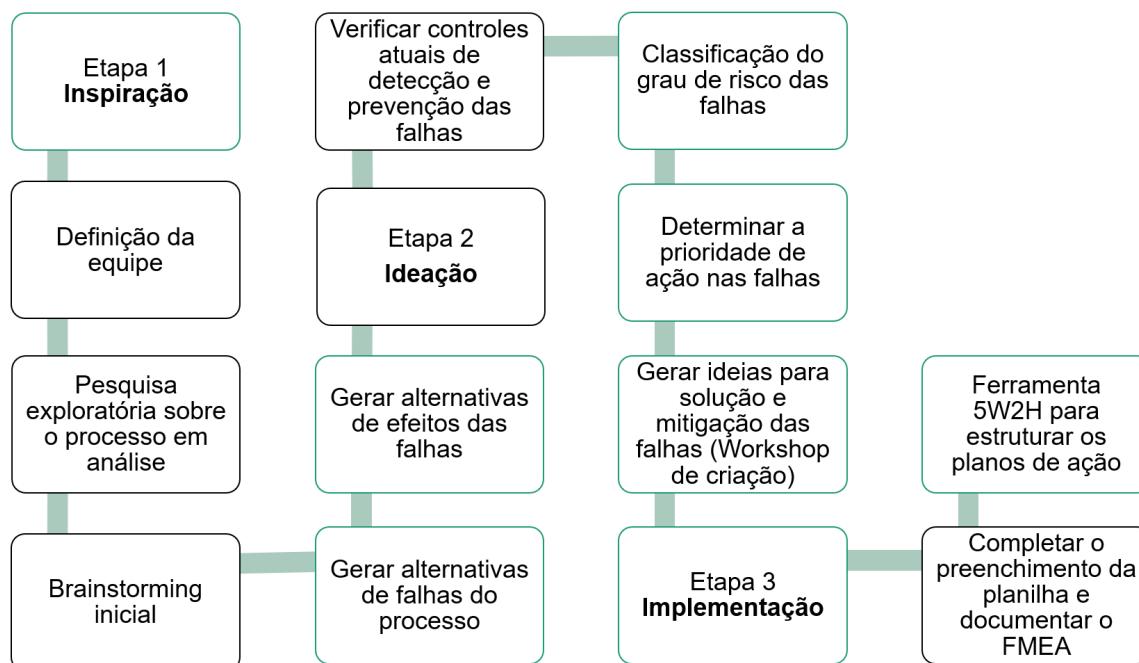
A terceira e última etapa do modelo tem como objetivo a implementação das soluções desenvolvidas e documentação dos resultados. Conforme recomendado pelo manual FMEA AIAG e VDA (2019), os estudos precisam ser documentados e avaliados regularmente, pelo menos uma vez ao ano, com o intuito de sedimentar o processo e estimular a melhoria contínua.

A equipe também deve ser responsável pela comunicação dos riscos observados e soluções desenvolvidas. Para isso, o time pode elaborar treinamentos e *workshops* para a transmitir as ações recomendadas e implementar as soluções desenvolvidas, sempre em conjunto com as equipes de manutenção.

3.2 Dinâmica de aplicação do modelo

Como o modelo utiliza conceitos do *design* e inovação, suas etapas de aplicação não precisam ser rígidas e podem ser aplicadas da forma que melhor se adequar ao grupo. A Figura 17 ilustra a sequência sugerida a ser seguida.

Figura 17: Etapas de aplicação do modelo



Fonte: Adaptado de Brown (2020)

Na etapa 1, é realizada a definição da equipe de trabalho, que deve ser composta por pessoas que tenham familiaridade com o processo a ser estudado e seja, preferencialmente, multidisciplinar.

Uma análise do processo deve ser realizada para que a equipe obtenha o máximo de informações sobre o processo, com análise de documentos, desenho do processo e acompanhamento em campo.

Após a coleta dos dados e documentos disponíveis, a técnica de *brainstorming* deve ser utilizada para auxiliar a equipe na análise das falhas do processo. Essa ferramenta pode ser abordada de forma estruturada ou intuitiva.

Nas duas abordagens, para se obter o máximo de ideias e visões diferentes sobre o processo, é recomendado a montagem de uma equipe com diferentes competências profissionais, e que conheçam o processo estudado.

A ideia pode ser relacionada com uma experiência prática ou uma solução técnica que necessita de um aprimoramento. As ideias são priorizadas e possivelmente discutidas até se chegar a um conceito único.

No *brainstorming* intuitivo, o líder da dinâmica distribui um modelo de *brainstorming* para cada pergunta orientadora, que deve ser relacionada as possíveis falhas de cada etapa do processo estudado.

O grupo recebe as perguntas orientadoras, a partir das quais devem gerar novas ideias e respostas. As perguntas orientadoras devem ser escritas em *post-its* e colocadas nas áreas no centro do poster.

Em seguida, o grupo continua a dinâmica por um tempo estipulado e então as possíveis falhas são colocadas ao redor da pergunta orientadora. As falhas devem ser escritas em *post-its* de uma cor diferente da cor do *post-it* central. A Figura 19 ilustra um exemplo de aplicação do *brainstorming* intuitivo.

Figura 18: Exemplo de brainstorming intuitivo

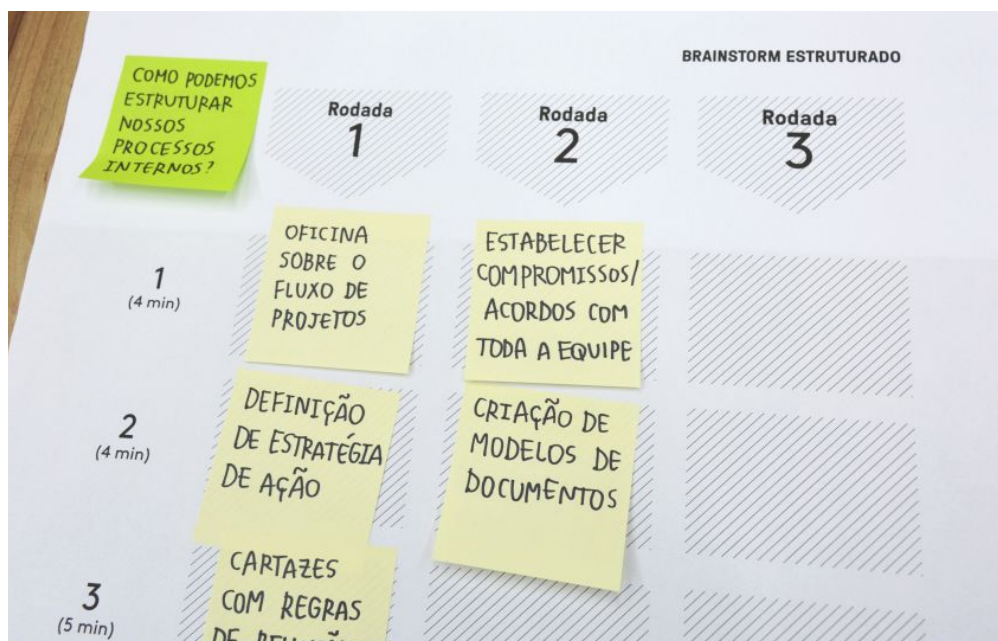


Fonte: Adaptado de ENAP (2017)

No *brainstorming* estruturado, os participantes são posicionados ao redor de uma mesa, o condutor da dinâmica distribui *post-its* e um formulário de *brainstorming* estruturado para cada participante.

Cada integrante da equipe escreve suas respostas e análises em *post-its* e os coloca na sua coluna correspondente, e, ao final de cada rodada, os participantes passam a folha de papel para a pessoa a sua direita.

Os participantes com as folhas descritas do seu vizinho, podem escolher entre desenvolver as ideias já colocadas ou gerar novas. Os participantes posicionam os *post-its* na folha antes da próxima rodada. A Figura 20 ilustra um exemplo de preenchimento do *brainstorming* estruturado.

Figura 19: *Brainstorming* estruturado

Fonte: Adaptado de ENAP (2017)

Após a discussão e reflexão sobre as possíveis falhas da etapa estudada, a equipe passa a analisar as suas causas, efeitos, e se existem controles de prevenção e detecção dessas falhas. A Figura 20 ilustra um modelo para preenchimento desses itens enquanto o *brainstorming* é conduzido.

Figura 20: Modelo de preenchimento do FMEA no brainstorming

CAUSAS	CONTROLES DE PREVENÇÃO	MODO DE FALHA	EFEITO
			CONTROLE DE DETECÇÃO

Fonte: Adaptado do manual FMEA AIAG e VDA (2019)

Após discussão das possíveis falhas nas etapas do processo, suas causas e efeitos, a primeira parte da planilha do FMEA já pode ser preenchida, conforme indicado no Quadro 8.

Quadro 8: Exemplo preenchimento do FMEA

Processo	Função	Requisitos	Modos de falha	Efeitos
Usinagem de rodas	Regularizar o diâmetro de uma roda	Ferramenta de corte	Quebra da ferramenta	Atraso na entrega do produto

--	--	--	--	--

Fonte: Adaptado do manual FMEA AIAG e VDA (2019)

Na segunda etapa, ideação, a equipe deverá verificar a prestabilidade dos sistemas de detecção e prevenção das falhas, classificar o grau de risco das falhas apontadas e gerar alternativas para melhoria do processo e mitigação dos riscos.

Para referência do time, os indicadores do modelo são relacionados à segurança e saúde ocupacional, risco ambiental, risco na qualidade do produto ou serviço, perda financeira ou patrimonial. Esses indicadores são importantes para auxiliar a equipe na classificação das falhas e suas prioridades de ação.

Para auxiliar na classificação das prioridades de ação, a equipe pode utilizar, como auxílio, as tabelas fornecidas pelo manual FMEA, ilustradas nos quadros a seguir.

Os três critérios de pontuação para o risco, utilização recomendada pelo FMEA, foram discutidos no subcapítulo 2.7.

Quadro 9: Pontuação de severidade da falha

SEVERIDADE DO PROCESSO (S)				
Efeitos potenciais de falha pontuados conforme critérios abaixo				
S	Efeito	Impacto em sua planta	Impacto na planta de envio (Quando conhecido)	Impacto no usuário final (Quando conhecido)
10	Alto	A falha pode resultar em um risco para saúde e/ou segurança do trabalhador da fabricação ou montagem	A falha pode resultar em um risco para saúde e/ou segurança do trabalhador da fabricação ou montagem	Afeta a operação segura do veículo e ou outro veículo, a saúde do motorista ou passageiro ou usuário da estrada ou pedestre
9		A falha pode resultar em não conformidade da planta com as regulamentações	A falha pode resultar em não conformidade da planta com as regulações	Não conformidade com as regulações
8	Moderadamente Alto	100% da produção afetada pode ter que ser descartada	Parada de linha maior que o turno total da produção, parada nos embarques possíveis necessários reparos ou substituição.	Perda de função primária do veículo necessária para condução normal, durante a vida útil esperada.
7		O produto pode ter que ser selecionado e uma parte (menos que 100%) ser descartada, desvio do processo primário velocidade da linha reduzida ou mão de obra adicional	Parada de linha de uma hora até um turno total de produção, parada de embarques	Degradação da função primária do veículo, necessária para condução normal, durante a

			possíveis, necessários reparo ou substituição em campo.	vida útil esperada.
6	Moderadamente e baixo	100% da produção pode ser retrabalhada fora da linha e aceita	Parada da linha por até uma hora	Perda de função secundária do veículo
5		Uma parte da produção pode ter que ser retrabalhada fora da linha e aceita	Menos de 100% dos produtos são afetados. Grande possibilidade de produtos defeituosos adicionais.	Degradação de função secundária do veículo
4		100% da produção pode ser retrabalhada na estação antes de ser processada	Produtos defeituosos desencadeia plano de reação significativo. Produtos adicionais defeituosos adicionais não são prováveis. Seleção não é requerida	Aparência, ruído, vibração, rugosidade ou sentido háptico. Muito desagradável
3		Baixo	Uma parte da produção pode ter que ser retrabalhada na estação antes de ser processada	Produto defeituoso desencadeia plano de reação pouco significativo. Produtos defeituosos adicionais não são prováveis, seleção não é requerida
2	Leve inconveniente ao processo, operação ou operador		Produtos defeituoso não desencadeia plano de reação.	Aparência, ruído, vibração, rugosidade ou sentido háptico. Ligeiramente desagradável
1	Muito Baixo	Nenhum efeito perceptível	Nenhum efeito perceptível	Nenhum efeito perceptível

Fonte: Adaptado do manual FMEA AIAG e VDA (2019)

Quadro 10: Pontuação para Ocorrência da Falha

Potencial de Ocorrência (O) para o Processo			
O	Previsão da ocorrência da Causa da Falha	Tipo de Controle	Controles de Prevenção
10	Extremamente Alta	Nenhum	Nenhum controle de prevenção
9	Muito Alta	Comportamental	Controles de prevenção terão pouco efeito na prevenção da causa da falha
8			
7	Alta	Comportamental ou técnico	Controles de prevenção pouco eficazes na prevenção da causa da falha
6			
5	Moderada	Comportamental	Os controles de prevenção são

4		ou Técnico	eficazes na prevenção da causa da falha
3	Baixa	Melhores práticas e comportamento	Os controles de prevenção são altamente eficazes na prevenção da causa da falha
2	Muito baixa		
1	Extremamente Baixa	Técnico	Os controles de prevenção são extremamente eficazes para evitar que a causa da falha ocorra devido ao projeto, e o modo de falha não pode ser fisicamente produzido.

Fonte: Adaptado do manual FMEA AIAG e VDA (2019)

Quadro 11: Pontuação para detecção da falha

Pontuação Detecção (D) para validação do processo			
Controles de deteção são pontuados conforme a maturidade do método e oportunidade para deteção			
D	Capacidade para detectar	Maturidade do método de deteção	Oportunidade para deteção
10	Muito Baixa	Nenhum método de teste ou inspeção foi estabelecido ou é conhecido	O modo de falha não será ou não pode ser detectado
9		É improvável que o método de teste ou inspeção detecte o modo de falha	O modo de falha não é facilmente detectado através de auditorias aleatórias ou esporádicas
8	Baixa	O método de teste ou inspeção não tem comprovação de eficácia e confiabilidade	Inspeção humana (visual, tátil audível) ou uso de dispositivo manual (atributo ou variável) que deveria detectar o modo de falha ou causa da falha
7			Detecção baseada em máquina (automática ou semiautomática com notificação através de lâmpadas, alarme sonoro etc.) ou uso de equipamentos de inspeção tal como máquina de medição por coordenada que deveria detectar o modo de falha ou cauda da falha
6	Moderada	O método de teste ou inspeção tem comprovação de eficácia e confiabilidade	Inspeção humana (visual, tátil, audível) ou uso de dispositivo manual que irá detectar o modo ou causa de falha
5			Detecção baseada em máquina (automática ou semiautomática com notificação através de lâmpadas, alarme sonoro, etc.) ou uso de equipamentos de inspeção tais como máquina de medição por coordenada que irá detectar o modo de falha ou a causa de falha.
4	Alta	Sistema tem comprovação da eficácia e confiabilidade.	Método de deteção automático baseado em máquina que irá detectar o modo de falha nas operações seguintes prevenir o processamento posterior ou o sistema identificará o produto como discrepante e permitirá automaticamente avance no processo até a área designada de rejeição para ser descarregado.
3			Método de deteção automático baseado em máquina que irá detectar o modo de falha na estação, prevenir o processamento posterior, ou o sistema

			identificará o produto como discrepante e permitirá que automaticamente avance para ser descarregado.
2		Método de detecção tem comprovação de eficácia e confiabilidade	Método de detecção baseado em máquina que irá detectar a causa e prevenir o modo de falha (peça discrepante) de ser produzido.
1	Muito alta	O modo de falha não pode ser fisicamente produzido conforme projetado ou processado, ou os métodos de detecção comprovados sempre detectam o modo de falha ou sua causa.	

Fonte: Adaptado do manual FMEA AIAG e VDA (2019)

Após o time concluir a identificação dos modos de falha, efeitos de falha, causas e controles, e definir as pontuações de Severidade, Ocorrência e Detecção, é necessário definir a prioridade de ação (PA), conforme descrito no Quadro 12.

Quadro 12: Prioridades de ação para FMEA de processo

Prioridade de Ação (PA)						
Efeito	S	Previsão de ocorrência	O	Capacidade de detectar	D	Prioridade de Ação (PA)
Efeito Muito alto na planta ou produto	9-10	Muito Alta	8-10	Baixa-Muito baixa	7-10	A
				Moderada	5-6	A
				Alta	2-4	A
				Muito Alta	1	A
		Alta	6-7	Baixa-Muito baixa	7-10	A
				Moderada	5-6	A
				Alta	2-4	A
				Muito Alta	1	A
		Moderada	4-5	Baixa-Muito baixa	7-10	A
				Moderada	5-6	A
				Alta	2-4	A
				Muito Alta	1	M
		Baixa	2-3	Baixa-Muito baixa	7-10	A
				Moderada	5-6	M
				Alta	2-4	B
				Muito Alta	1	B
Muito Baixa	1	Muito Alta – Muito baixa	1-10	B		
Efeito alto na planta ou no produto	7-8	Muito Alta	8-10	Baixa-Muito baixa	7-10	A
				Moderada	5-6	A
				Alta	2-4	A
				Muito Alta	1	A
		Alta	6-7	Baixa-Muito baixa	7-10	A
				Moderada	5-6	A
				Alta	2-4	A
				Muito Alta	1	M
		Moderada	4-5	Baixa-Muito baixa	7-10	M
				Moderada	5-6	M
				Alta	2-4	M
				Muito Alta	1	M
		Baixa	2-3	Baixa-Muito baixa	7-	M

					10	
				Moderada	5-6	M
				Alta	2-4	B
				Muito Alta	1	B
		Muito Baixa	1	Muito Alta – Muito baixa	1-10	B
Efeito Moderado na Planta ou no produto	4-6	Muito Alta	8-10	Baixa-Muito baixa	7-10	A
				Moderada	5-6	A
				Alta	2-4	M
				Muito Alta	1	B
		Alta	6-7	Baixa-Muito baixa	7-10	M
				Moderada	5-6	B
				Alta	2-4	B
				Muito Alta	1	B
		Moderada	4-5	Baixa-Muito baixa	7-10	B
				Moderada	5-6	B
				Alta	2-4	B
				Muito Alta	1	B
	Baixa	2-3	Baixa-Muito baixa	7-10	B	
			Moderada	5-6	B	
			Alta	2-4	B	
			Muito Alta	1	B	
Muito Baixa	1	Muito Alta – Muito baixa	1-10	B		
Efeito Baixo na planta ou produto	2-3	Muito Alta	8-10	Baixa-Muito baixa	7-10	M
				Moderada	5-6	M
				Alta	2-4	B
				Muito Alta	1	B
		Alta	6-7	Baixa-Muito baixa	7-10	B
				Moderada	5-6	B
				Alta	2-4	B
				Muito Alta	1	B
		Moderada	4-5	Baixa-Muito baixa	7-10	B
				Moderada	5-6	B
				Alta	2-4	B
				Muito Alta	1	B
	Baixa	2-3	Baixa-Muito baixa	7-10	B	
			Moderada	5-6	B	
			Alta	2-4	B	
			Muito Alta	1	B	
Muito Baixa	1	Muito Alta – Muito baixa	1-10	B		
Nenhum efeito	1	Muito baixa – Muito Alta	1-10	Muito Alta – Muito baixa	1-10	B

Fonte: Adaptado do manual FMEA AIAG e VDA (2019)

A matriz de risco, ilustrada no Quadro 13, relaciona a probabilidade de ocorrências de uma falha com as consequências em várias situações e o aumento de sua severidade de acordo com o que está sendo afetado. Indicadores como riscos ambientais, saúde e segurança, qualidade do produto e serviço e a reputação local são utilizados para classificar os tipos de riscos.

Formas de expressar a probabilidade de incerteza					RISCO – Gráfico ALARP					
5	Ocorre 1 em 2 toneladas	Ocorre 1 vez/ano a 1 vez/10 anos	Ocorre várias vezes/ano	Acontecerá	Mitigar (M)	Corrigir imediatamente e (c)	Evitar (E)	Evitar (E)	Evitar (E)	
4	Ocorre 1 em 20 toneladas	Ocorre de 1 vez/10 anos a 1 vez/100 anos	Ocorre em 10 a 100 anos	Pode acontecer	Baixa Prioridade (B)	Mitigar (M)	Corrigir imediatamente e (c)	Evitar (E)	Evitar (E)	
3	Ocorre 1 e 2000 toneladas	Ocorre de 1 vez/100 anos a 1 vez/1000 anos	Muitas ocorrências na empresa	Não é usual a ocorrência	Baixa Prioridade (B)	Prioridade Opcional (O)	Mitigar (M)	Corrigir imediatamente e (c)	Evitar (E)	
2	Ocorre 1 em 150.000 toneladas	Ocorre de 1 vez/1000 anos a 1 vez/10.000 anos	Muitas ocorrências na indústria	A ocorrência é aceitável	Baixa Prioridade (B)	Baixa Prioridade (B)	Mitigar (M)	Mitigar (M)	Corrigir imediatamente e (c)	
1	Ocorre 1 em 600.000 toneladas	Ocorre menos do que 1 vez/10.000 anos	Nunca ocorreu	Nunca acontecerá	Baixa Prioridade (B)	Baixa Prioridade (B)	Baixa Prioridade (B)	Mitigar (M)	Mitigar (M)	
	A	B	C	D	Aumento da Severidade das Consequências					
	Problemas relacionados com Pessoas/Saúde				A	Ausência de riscos à saúde/ferimentos	Caso de primeiros socorros ou problema leve a saúde	Perda de tempo devido a ferimentos ou problemas de saúde	Afastamento temporário ou problema maior à saúde	Afastamento total/fatalidade ou problema severo a saúde
	Ambiental				B	Efeito desprezível limitado ao ambiente interno da planta	Efeitos menores limitados a reclamações da vizinhança	Emissões localizadas resultando cobertura de TV/Jornais locais	Emissões regionais resultando cobertura de TV/Jornais locais	Emissões com danos nacionais resultando cobertura de TV/Jornais internacionais
	Qualidade do Produto/Serviço				C	Alguns produtos ou serviços falham em atender os padrões	Muitos clientes reclamam verbalmente	Muitos clientes reclamam por escrito	Clientes importantes/significativos cancelam pedidos	Perda substancial de participação no mercado devido problemas
	Perda Financeira ou Patrimonial				D	Danos menores, inferiores a 10.000 dólares	Danos notáveis, excedem 10.000 dólares	Danos extensos, excedem 100.000 dólares	Danos maiores, excede 1 milhão de dólares	Danos severos, excede 10 milhões de dólares
	Reputação Local, Nacional ou Internacional				E	Impacto pequeno moderado	Perda da reputação frente à comunidade	Perda da reputação em nível estadual	Perda da reputação em nível nacional	Perda da reputação em nível internacional

Fonte: Adaptado manual FMEA (2008)

Com a classificação das prioridades de atuação nas falhas apontadas, a equipe irá discutir e propor ideias para solução ou mitigação desse risco.

Workshops de cocriação devem ser realizados para que o time utilize ferramentas de auxílio no desenvolvimento da criatividade e geração de alternativas para solução das falhas discutidas nas etapas anteriores.

É importante eleger um espaço compartilhado por todos os envolvidos na atividade para que as informações produzidas sejam expostas e ao alcance de todos, o que proporciona a identificação de elementos relevantes e estimula a colaboração.

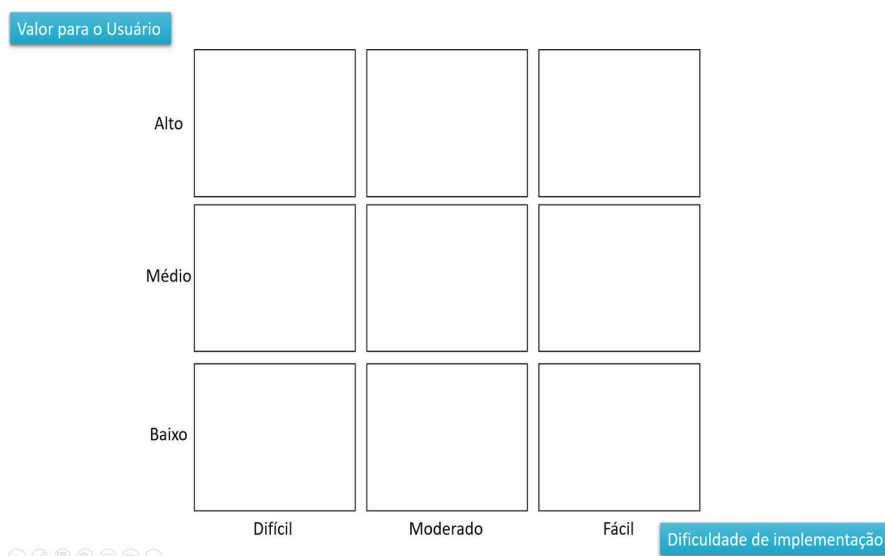
Ouvir e observar as pessoas que participam do processo é importante para identificar padrões e ter *insights* de solução. O registro visual também é importante, e pode ser feito com caneta, papel e lápis. A equipe registra uma ideia e seus elementos com objetivo de comunicar a sua essência.

Em grupos de três a quatro pessoas, cada integrante deve descrever suas ideias e compartilhá-las. Posteriormente, os participantes sugerem melhorias as ideias dos parceiros e classificam as melhores para aplicação.

O gráfico de prioridades, ilustrado na Figura 21, é uma ferramenta que auxilia na classificação e avaliação das ideias obtidas.

A ferramenta diz respeito à seleção das melhores ideias. É importante ter muitas ideias, mas também é crucial conseguir priorizá-las. Os indicadores de desempenho da atividade são utilizados como base para classificação das prioridades.

Figura 21: Gráfico de prioridades



Fonte: Adaptado de ENAP (2017)

Os parâmetros são definidos em cada eixo, assim como níveis de dificuldade ou facilidade. Cada ideia é discutida em equipe de acordo com os parâmetros, e são posicionadas

no local correspondente no gráfico de prioridades. Assim que todas as ideias estiverem posicionadas, é hora de priorizar.

No canto inferior esquerdo, são colocadas as ideias de baixo valor ao processo e difícil aplicação, que geralmente são descartadas. No canto inferior direito são colocadas as ideias com baixo valor ao processo, porém são de fácil aplicação, que podem ser tanto rejeitadas como modificadas posteriormente. As ideias difíceis de ser realizadas, porém com um alto valor agregado ao processo, são colocadas no canto superior esquerdo, e podem ser realizadas depois, com um planejamento mais aprimorado. As ideias do canto superior direito são aquelas consideradas fáceis de aplicar e com um alto valor agregado ao processo, e são as melhores para serem desenvolvidas com prioridade.

Depois da definição e classificação das alternativas de solução, é o momento de protótipo e testar as ideias. O objetivo é errar rápido e de forma pequena, para que o aprendizado seja rápido e com economia de recursos.

A ferramenta 5W2H, mostrada no Quadro 14, pode ser utilizada para auxiliar a equipe a planejar a execução das ideias selecionadas, tanto na etapa de prototipagem quanto na etapa de implantação.

Esta ferramenta deve descrever um plano de ação com as atividades que precisam ser desenvolvidas com a maior clareza possível para obter o entendimento do empregado que irá executá-la. O objetivo da ferramenta 5W2H é responder a sete questões básicas e, assim, planejá-las de forma eficiente (MEIRA, 2003).

Quadro 14: Ferramenta 5W2H

MÉTODO DA FERRAMENTA 5W2H			
5W	What?	O que?	Qual ação será executada?
	Who?	Quem?	Quem irá executar a ação?
	Where?	Onde?	Onde será executada a ação?
	When?	Quando?	Quando será executada?
	Why?	Por quê?	Por que a ação será executada?
2H	How?	Como?	Como será executada a ação?
	How Much?	Quanto custa?	Quanto custa para executar a ação?

Fonte: Adaptado de Meira (2003)

Na etapa 3, implantação, o time deverá possuir informações suficientes para realizar o preenchimento completo da planilha do FMEA, conforme ilustrado no Quadro 15.

O objetivo da documentação dos resultados é resumir e comunicar a análise de modos e efeitos de falha realizada, com a indicação das ações tomadas e confirmação de sua utilidade na redução dos riscos de falha para níveis aceitáveis.

O relatório pode ser utilizado para comunicação tanto para empresa, quanto para empresas parceiras e prestadores de serviço. Por isso a importância de o relatório preencher os requisitos da organização e de todos os principais envolvidos e interessados nas informações documentadas.

Com a planilha preenchida e documentada, os gestores poderão acompanhar as ações priorizadas no processo e fazer uma verificação periódica do conteúdo.

Quadro 15: Exemplo de preenchimento do FMEA

Modo de falha	Efeito potencial de falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	Prioridade de Ação	Ação Corretiva Planejada
Sistema não funciona	Atraso na produção	6	4	2	Baixa	Verificação do sistema de corte
Cortes mal feitos	Perda de qualidade do produto	4	9	2	Média	Avaliação da precisão da máquina
Desperdício de insumos	Aumento de custo	3	1	4	Baixa	Diminuir insumos usados
Falta de manutenção	Máquina para de funcionar	7	9	5	Alta	Agendar manutenções preventivas
Placas mal dimensionadas	Máquina pode quebrar	6	8	4	Média	Calibrar sistemas de corte

Fonte: Autor (2023)

Para auxiliar os gestores na tomada de decisão, foram sugeridos indicadores de desempenho para monitorar as atividades e resultados do modelo.

Os indicadores tem como base as quatro consequências de falhas citadas anteriormente, sendo elas o meio ambiente, saúde e segurança do trabalho, perda financeira ou patrimonial da empresa e qualidade do produto ou serviço.

Após a aplicação do FMEA nos processos, com a classificação dos riscos avaliados e definição de suas prioridades de ação, deve-se quantificar o número de falhas com prioridade de ação alta e média e com qual consequência ela está atrelada, e com isso acompanhar os planos de ação para diminuição desses riscos. Quanto menor o número do indicador, melhor será a qualidade do processo estudado. Os indicadores são descritos no Quadro 16.

Quadro 16: Indicadores do Modelo

Indicador	Descrição
Ambiental	Número de falhas com prioridade de ação alta e com risco ao meio ambiente.
Saúde e segurança	Número de falhas com prioridade de ação alta e com risco a saúde e segurança dos trabalhadores.

Qualidade do produto ou serviço	Número de falhas com prioridade de ação alta e com risco a qualidade do produto ou serviço.
Perda financeira ou patrimonial	Número de falhas com prioridade de ação alta e com risco a perda financeira ou patrimonial.

Fonte: Autor (2023)

3.3 Aplicação do modelo

Segundo Yin (2009), o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que contribui para um melhor entendimento de fenômenos que acontecem de forma local e individual, como processos organizacionais, que busca aprofundar o entendimento em um fenômeno específico e único.

A técnica de estudo de caso foi utilizada para testar e validar o modelo proposto, não sendo a metodologia de pesquisa principal do trabalho.

Para orientar o estudo, foram atribuídas três proposições de acordo com a fundamentação teórica construída.

Proposição 1: O modelo auxilia a gestão contínua da manutenção de trens metropolitanos.

Proposição 2: O modelo aumenta a comunicação entre os gestores, colaboradores e empresas terceirizadas.

Proposição 3: O modelo auxilia no processo de pesquisa de falhas, definição e implantação de inovação no setor de manutenção.

Para testar as proposições teóricas atribuídas, o modelo foi aplicado em uma oficina de manutenção de trens metropolitanos, localizada no centro da cidade de São Paulo.

A escolha do local foi feita por conveniência, devido ao autor ser funcionário da empresa e ter acesso facilitado às pessoas e ao ambiente.

Como estratégia de pesquisa, foi organizado um *workshop* com sete colaboradores, três supervisores de manutenção, um técnico de manutenção e três engenheiros de manutenção. Para escolha dos participantes, foi levado em consideração a ampla experiência que possuem no processo de manutenção de trens.

O processo escolhido para análise foi o de substituição de para-brisas de trem metropolitano, conforme ilustrado na Figura 22.

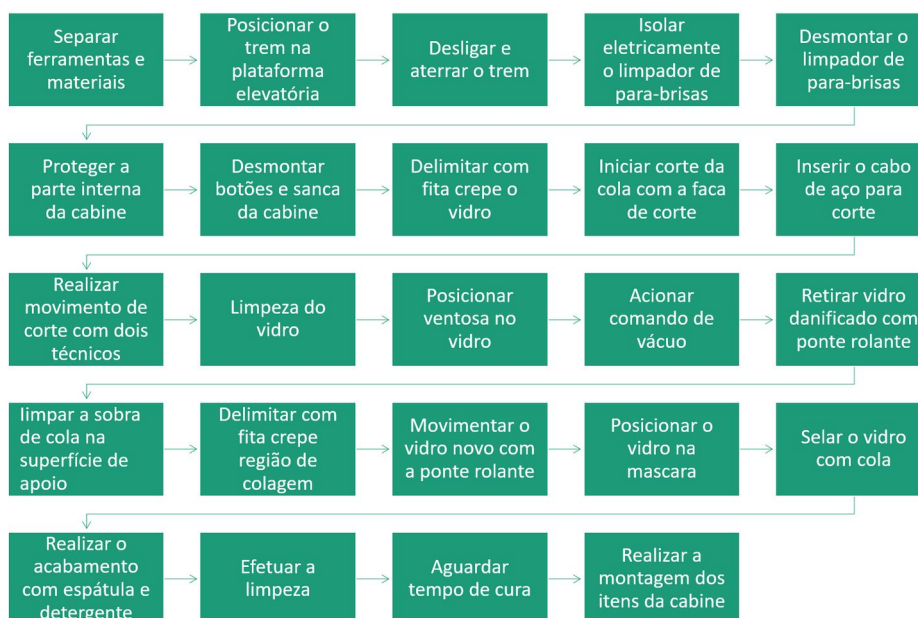
Figura 22: Substituição de para-brisas de trem metropolitano



Fonte: Dados da empresa (2023)

Esta é uma atividade realizada periodicamente e que possui um alto risco de perda financeira e acidentes do trabalho. As etapas do processo são ilustradas na Figura 23.

Figura 23: Etapas do processo de substituição de para-brisas



Fonte: Dados da empresa (2023)

No Quadro 17, é colocada a descrição dos cargos e formação dos participantes do *Workshop* realizado na empresa em estudo.

Quadro 17: Descrição dos participantes do *Workshop*

Participante	Descrição
Engenheiro de Manutenção	Formado em Engenharia Mecânica, possui 15 anos de experiência na manutenção de trens metropolitanos.
Engenheiro de Manutenção	Formado em Engenharia Mecânica, possui 10 anos de experiência na manutenção de trens metropolitanos.
Engenheiro de Manutenção	Formado em Engenharia Elétrica, possui 12 anos de experiência na manutenção de trens metropolitanos.
Supervisor de Manutenção	Formado em Engenharia de Produção, atua a mais de 20 anos na área de manutenção preventiva de trens metropolitanos.
Supervisor de Manutenção	Formado como Técnico em Sistemas elétricos, possui mais de 20 anos de experiência na área de manutenção corretiva e controle de qualidade dos trens metropolitanos.
Supervisor de Manutenção	Formada como Técnica em Mecânica e Administração, possui 13 anos de experiência na área de manutenção e fiscalização de contratos.
Técnico de Manutenção	Formado como técnico em Mecânica e Engenharia Elétrica, possui mais de 15 anos de experiência na área de manutenção de trens e trabalha diretamente na atividade de substituição de para-brisas de trem metropolitano.

Fonte: Autor (2023)

A atividade foi realizada na oficina de manutenção da empresa, que cedeu o espaço e o período de quatro horas, durante horário de trabalho, para execução do *workshop*.

O *workshop* foi conduzido e liderado pelo autor do trabalho e teve início com uma palestra de 15 minutos para explicar à equipe como funciona o modelo e como ele pode ser utilizado para análise dos processos de manutenção da empresa.

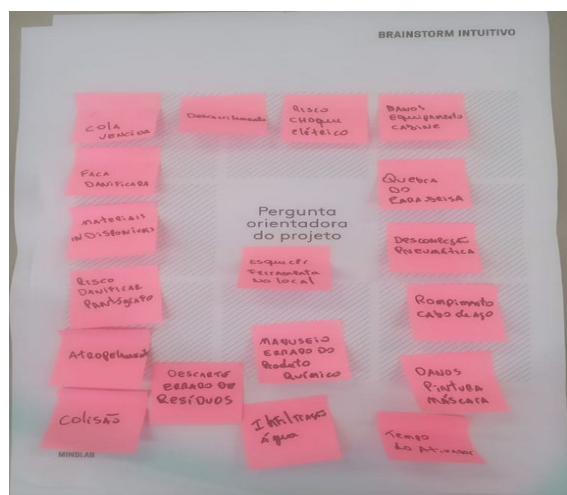
Em seguida, foi iniciada a etapa 1 do modelo proposto com uma sessão de *brainstorming* para discussão sobre quais falhas poderiam ocorrer no processo de substituição do para-brisas de trem metropolitano.

Para isso, foi distribuído o desenho do processo para todos os participantes, e foi concedido cinco minutos para que eles pudessem escrever as falhas que poderiam ocorrer em cada etapa do processo.

Foi escolhido o *brainstorming* do tipo intuitivo, com uma dinâmica livre em que os participantes puderam trocar ideias e sugestões.

Após a sessão de cinco minutos, os participantes puderam expor as ideias de falhas que poderiam ocorrer e discutir as etapas do processo, todas as falhas geradas foram escritas em *post-its* e coladas na folha do *brainstorming*, conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24: *Brainstorming* para identificação de falhas



Fonte: Autor (2023)

Depois de discutidas, o condutor do Workshop (autor deste trabalho) construiu um quadro com as falhas levantadas, transcritas em uma planilha do excel para organização das informações, conforme descrito no Quadro 18. Foram acrescentados, nos modos de falha, o tipo de risco em que está relacionado e o seu efeito potencial.

Quadro 18: Modos de falha na troca de para-brisas de trem metropolitano

Tipo de risco	Modo de Falha	Efeito potencial
Ambiental	Descarte inadequado de resíduos	Danos ao meio ambiente
Perda financeira/patrimônio	Descarrilamento do trem	Danos aos componentes do trem
Perda financeira/patrimônio	Cabine do trem danificada	Necessidade de reparo da cabine
Perda financeira/patrimônio	Quebra do para-brisas	Necessidade de um novo para-brisas
Perda financeira/patrimônio	Pintura danificada	Necessidade de reparo da cabine
Perda financeira/patrimônio	Colisão	Necessidade de reparo da cabine
Perda financeira/patrimônio	Danificar pantógrafo	Necessidade de um novo pantógrafo
Pessoa/Saúde	Choque Elétrico	Acidente do trabalho
Pessoa/Saúde	Contato com produto químico	Acidente do trabalho
Pessoa/Saúde	Rompimento do cabo de aço	Acidente do trabalho
Pessoa/Saúde	Atropelamento	Acidente do trabalho
Qualidade do produto/serviço	Faca de corte danificada	Corte ineficiente da cola
Qualidade do produto/serviço	Cola vencida	Colagem ineficiente
Qualidade do produto/serviço	Exceder tempo do ativador da cola	Retrabalho
Qualidade do produto/serviço	Infiltração de água	Danos aos componentes eletrônicos
Qualidade do produto/serviço	Materiais indisponíveis	Atraso no serviço

Fonte: Autor (2023)

Após a definição dos modos de falha do processo, a equipe foi dividida em dois grupos e iniciada a discussão para a definição dos outros parâmetros sugeridos pelo FMEA, como os controles de prevenção, detecção e efeitos de falha.

Para isso, foram escolhidos dois modos de falha para definição de suas causas, controles de prevenção, efeitos e controle de detecção. Para escolha do modos de falha, foram levados em consideração o elevado impacto no cliente final e o risco de desenvolvimento de doenças ocupacionais nos trabalhadores.

O primeiro modo de falha escolhido foi o de infiltração de água pelo para-brisas. Os efeitos desse modo de falha são diversos e podem gerar uma grande perda financeira com a degradação de equipamentos eletrônicos, além de causar falhas fatais no sistema operacional dos trens.

O segundo modo de falha escolhido foi o de contato direto do colaborador com produto químico. Ele foi escolhido pois, apesar de parecer simples a solução do problema, ele ocorre com frequência e pode causar sérios prejuízos à saúde dos colaboradores, como queimaduras na pele e desenvolvimento de câncer a longo prazo.

Para cada modo de falha foram atribuídas, pela equipe, causas, controles de prevenção, um efeito de falha e um controle de detecção.

Na figura 25, é ilustrada a discussão sobre o manuseio errado do produto químico utilizado no processo.

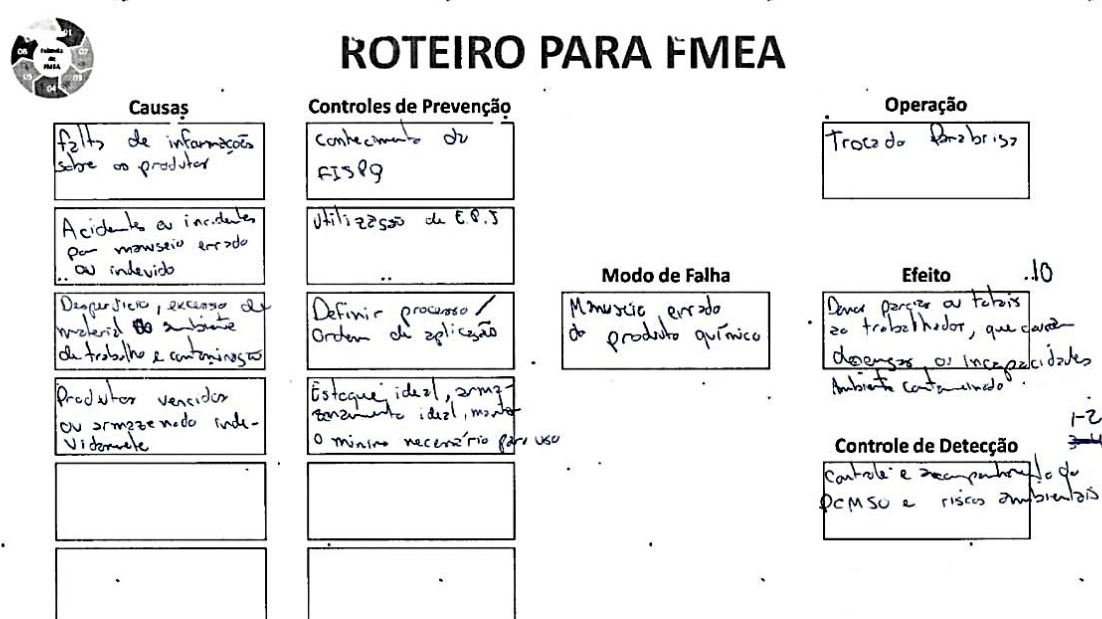
Esse modo de falha é recorrente devido à falta de informação sobre o produto químico, por não haver uma FISPQ (Ficha de Segurança de Produtos Químicos) atualizada, que, conseqüentemente, faz com que o operador não tenha as informações corretas sobre o manuseio do produto.

Outro ponto levantado foi em relação a utilização de produtos fora da validade e com o manuseio de uma quantidade excessiva do produto pelos colaboradores.

Como controles de prevenção, foram levantados: a obrigação do uso de E.P.I (Equipamento de proteção individual), uma FISPQ atualizada e de fácil acesso a todos os envolvidos no processo, definição do processo e ordem de aplicação correta do produto e manutenção de um controle de estoque correto com o descarte de produtos fora da validade.

O efeito desse modo de falha é a possível doença ocupacional desenvolvida no trabalhador por contato direto ao produto químico. O controle de prevenção atual é o acompanhamento médico periódico e a aplicação correta do PCMSO (Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional).

Figura 25: Contato do colaborador com produto químico



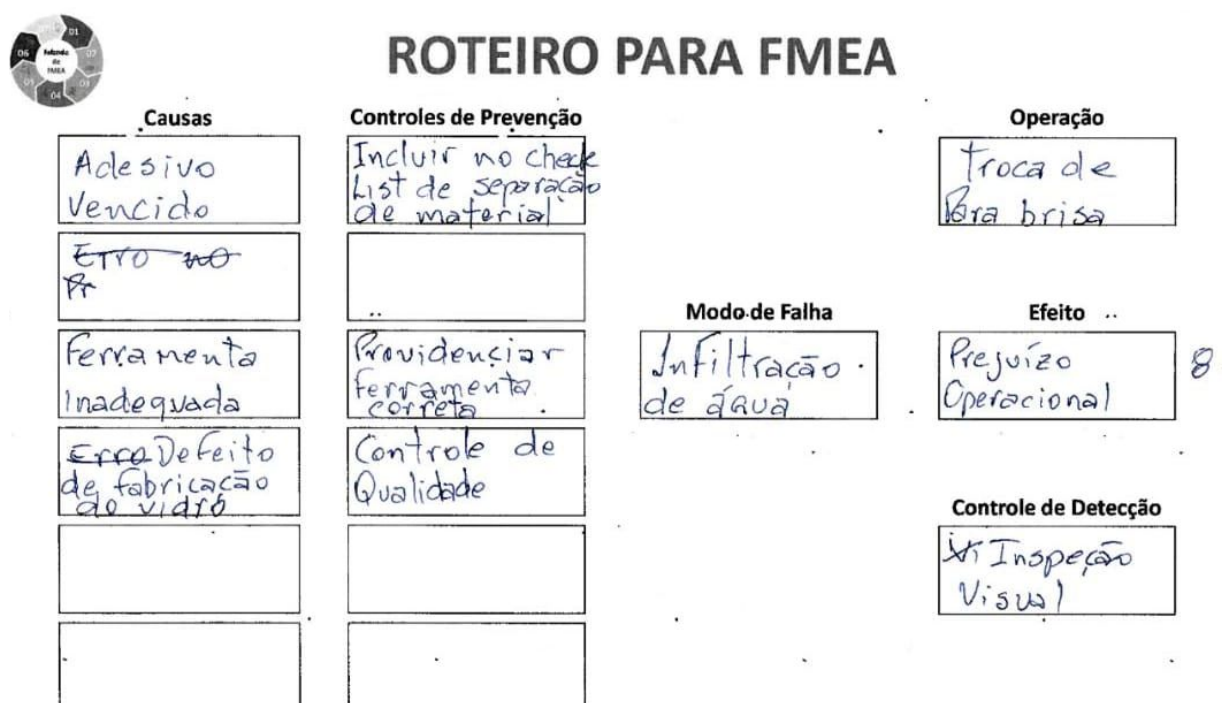
Fonte: Autor (2023)

Na Figura 26, é ilustrada a discussão sobre o modo de falha de infiltração de água pelo para-brisas. Percebe-se que as causas dessa falha incluem a utilização de adesivo e cola vencida, ferramenta inadequada para o corte e colagem do para-brisas e defeito de fabricação do vidro instalado.

Como controles de prevenção, foram determinados: a inclusão de verificação de validade do adesivo no check-list de separação do material, a disponibilidade de ferramentas adequadas para execução do trabalho e determinação de uma inspeção mais criteriosa de controle de qualidade do vidro comprado para substituição.

O controle de detecção da falha é uma inspeção visual do componente para verificação da infiltração e o efeito dessa falha é o prejuízo operacional ao cliente, pois pode afetar diretamente na funcionalidade dos componentes eletrônicos da cabine do trem e ocasionar falhas no sistema.

Figura 26: Infiltração de água pelo para-brisa



Fonte: Autor (2023)

Em seguida, foi iniciada a etapa 2 do modelo, que tem como objetivo definir o grau de prioridade das falhas analisadas e definir sugestões de melhoria dessas falhas.

Para isso, foi entregue para os participantes as tabelas de severidade, ocorrência, detecção e prioridade de ação. Cada grupo definiu suas notas para cada quesito e foram definidas as prioridades de ação, conforme mostrado no Quadro 19.

Quadro 19: Notas de Severidade, ocorrência e detecção

Tipo de risco	Modo de Falha	Efeito potencial	Ocorrência	Severidade	Detecção	Prioridade de Ação
Pessoa/Saúde	Manuseio Errado do Produto Químico	Acidente do trabalho	6	10	6	Alta
Qualidade do produto/serviço	Infiltração de água	Danos aos componentes eletrônicos	5	8	5	Alta

Fonte: Autor (2023)

No modo de falha “Manuseio errado do Produto Químico”, foi dada a nota 6 para os quesitos ocorrência e detecção, pois os métodos de controle de prevenção e de detecção da falha são moderadamente eficazes, não evitam que a falha ocorra em todas as execuções do processo. Nesse mesmo modo de falha, foi dada a nota máxima de severidade pois é uma falha que pode causar prejuízo à saúde e segurança dos trabalhadores.

No modo de falha “Infiltração de água”, foi dada a nota 5 para os quesitos ocorrência e detecção, pois os métodos de controle de prevenção e de detecção da falha são moderadamente eficazes, não evitam que a falha ocorra em todas as execuções do processo. Nesse mesmo modo de falha, foi dada a nota 8 de severidade pois é uma falha que pode causar prejuízo direto à operação dos trens metropolitanos e danos ao patrimônio.

Com as prioridades de ação definidas, foi realizado um segundo *brainstorming*, com o intuito de discutir alternativas para melhoria do processo e diminuição do grau de risco da falha.

Como o grau de severidade não pode ser modificado, o intuito é melhorar os controles de prevenção e detecção de falha para poder diminuir o grau de prioridade de ação.

A equipe percebeu na discussão em grupo que é necessário um estudo mais aprofundado sobre o processo para que soluções mais assertivas sejam implantadas.

Por fim, foi apresentada ao grupo a ferramenta 5W2H para o planejamento da execução do plano de ação de melhoria do processo, conforme mostrado no Quadro 20.

Quadro 20: Ferramenta 5W2H para plano de ação no processo de troca de para-brisas de trem metropolitano

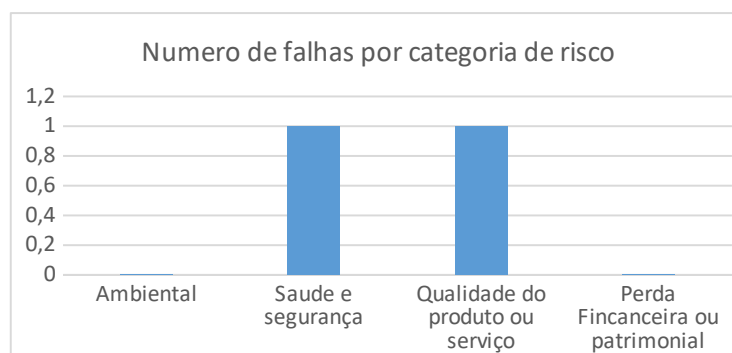
FERRAMENTA 5W2H			
5W	What?	O que?	Revisão do processo de troca de para-brisas de trem metropolitano
	Who?	Quem?	Técnico e Supervisor de Manutenção
	Where?	Onde?	Oficina de Manutenção
	When?	Quando?	Março/abril de 2023

	Why?	Por quê?	Processo com falhas de elevado grau de risco de falha e danos à saúde dos trabalhadores
2H	How?	Como?	Novo desenho do processo – Aprimoramento dos controles de prevenção e detecção de falhas em cada etapa do processo.
	How Much?	Quanto custa?	40 horas/homem

Fonte: Adaptado de Meira (2003)

Como exemplo de aplicação dos indicadores, a dinâmica proporcionou a identificação de duas falhas com potencial de risco elevado, atreladas as consequências de danos a saúde e segurança dos trabalhadores e na qualidade do produto, conforme ilustrado na Figura 27.

Figura 27: Contabilização dos resultados da dinamica nos indicadores



Fonte: Autor (2023)

Com os indicadores, gestores da área de manutenção terão uma melhor visualização da atual situação dos riscos avaliados nos processos e assim mais uma ferramenta de auxílio a tomada de decisão.

3.4 Análise dos resultados

A análise dos resultados levou em consideração as evidências teóricas e empíricas levantadas ao longo desse trabalho, e, a partir dessas proposições, visou-se responder à questão de pesquisa dessa dissertação: como aumentar a eficiência e desempenho dos serviços de manutenção de trens metropolitanos por meio da inovação na gestão contínua de manutenção?

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um modelo de gestão para aprimorar o processo de manutenção contínua de uma companhia de trens metropolitanos. Para isso, foram levantadas três proposições teóricas a serem discutidas com os resultados do estudo empírico aplicado na empresa em estudo.

Proposição 1: O modelo auxilia a gestão contínua da manutenção de trens metropolitanos.

Levando-se em consideração a empresa estudada, observou-se que o modelo foi bem aceito pelos gestores da área de manutenção, devido à utilização de uma ferramenta bastante difundida na indústria.

Durante o estudo de caso percebeu-se que os indicadores de desempenho da área de manutenção como o MTBF (Média de tempo entre falhas) e o MTTR (Média de tempo entre reparo) são importantes e encaixam nos parâmetros para definição dos critérios de severidade e ocorrência do FMEA.

Os indicadores propostos pelo modelo buscam auxiliar na gestão da manutenção pois englobam outros aspectos relacionados a manutenção, como a saúde e segurança e o meio ambiente, ampliando os itens de monitoramento, que antes eram abordados somente aspectos operacionais.

Proposição 2: O modelo aumenta a comunicação entre os gestores, colaboradores e empresas terceirizadas.

Após a aplicação do modelo, pode-se perceber que, independentemente de quem realize os trabalhos de manutenção, o modelo auxilia na gestão e melhoria dos serviços prestados.

Para aplicação do FMEA para melhoria de um processo, a pessoa especialista e que executa a atividade deve ser chamada para fazer parte do estudo, mesmo sendo um prestador de serviço terceirizado. Com isso, o modelo auxiliou a empresa em estudo na comunicação entre os envolvidos no processo, tanto entre funcionários próprios quanto terceirizados.

Proposição 3: O modelo auxilia no processo de pesquisa de falhas, definição e implantação de inovação no setor de manutenção.

Com a aplicação do modelo para melhoria do processo de substituição de para-brisas de trem metropolitano, pode-se perceber que a ferramenta FMEA auxiliou na condução do processo de pesquisa e análise das falhas do processo. Definiram-se duas falhas com alta prioridade de ação para elaboração de um plano de ação para melhorias. No entanto, não foi possível avaliar se o modelo auxilia na implantação de inovações nos processos, pois seria necessário um período mais longo de testes e um número maior de processos estudados para obter um resultado mais concreto em relação a esta questão.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as considerações, conclusões e limitações desse trabalho.

4.1 Conclusão

Por meio do desenvolvimento de um Modelo de Gestão específico para o setor de manutenção de trens metropolitanos, utilizando-se do *Design Science Research*, e sua validação com o método de estudo de caso único, este trabalho cumpriu o seu objetivo principal, que foi apresentar um modelo de gestão para aprimorar o processo de manutenção contínua de uma companhia de trens metropolitanos.

O estudo também permitiu apresentar uma fundamentação teórica que aborda temas diversos como inovação, gestão de facilidades e a manutenção, na tentativa de demonstrar uma unidade entre a fundamentação teórica e os resultados da pesquisa empírica.

A iniciativa deste trabalho demonstra que a empresa em estudo possui oportunidades de melhoria em seu setor de manutenção. Nesse contexto, é importante ressaltar as conquistas positivas que a pesquisa trouxe para a empresa estudada, iniciando pelo ingresso do pesquisador, funcionário da empresa, no programa de mestrado, o que incorporou em seu setor de manutenção a parceria com a instituição de ensino e pesquisa.

Dessa forma, ao logo do estudo, a empresa inovou em seu procedimento de manutenção, com a adoção de uma nova ferramenta de gestão.

A dinâmica em grupo mostrou a necessidade de discussão dos processos em grupo, de forma a criar a oportunidade de levantar problemas e falhas que ocorrem no setor para serem solucionadas.

4.2 Limitações e sugestões para continuação da pesquisa

Sobre as limitações da pesquisa, salienta-se que, de acordo com Cauchick (2007), o estudo de caso é realizado para se aprofundar no conhecimento em um evento específico no ambiente em que ele ocorre, mas é importante destacar a importância de replicar o

experimento em outros processos de manutenção e empresas do setor, para que possam ser observados e comparados, obtendo-se dados mais robustos para continuidade da pesquisa.

Para além da limitação da pesquisa de ter sido aplicada em um único ambiente, pode-se mencionar que existe um viés por parte do pesquisador, que, por ser funcionário da empresa em estudo, teve influência direta na condução e resultados do trabalho.

O tempo também foi um fator limitante. Para reduzir essa limitação, a pesquisa será seguida mesmo após a conclusão dessa dissertação, com a divulgação dos resultados por meio de pesquisas complementares a serem publicadas em artigos futuros.

Como sugestão, outros processos de manutenção podem ser analisados, por um período mais longo, com a adoção de outras ferramentas do *Design* nas dinâmicas em grupo e investigação das falhas.

REFERÊNCIAS

- ABRAFAC. **Associação Brasileira de Facility Management, Propertie and Work Place**. Disponível em: <https://abrafac.org.br/blog/abrafac-apresenta-os-numeros-mundiais-do-setor-de-facilities-no-fm-debate/>. Acesso em: 23/01/2022
- AIAG. **Análise de Modos e Efeitos de Falhas: FMEA - Manual de Referência** 4 ed., 2008.
- AMOS, D.; MUSA, Z. N.; AU-YONG, C. P. A review of facilities management performance measurement. **Property Management**, v. 37, n. 4, p. 490–511, 2019.
- ANWAR, M. Business model innovation and SMEs Performance - Does competitive advantage mediate? **International Journal of Innovation Management**, v. 22, n. 07, p. 1850057, 2018.
- APOSTOLOV, M.; COCO, N. Digitalization based innovation - A Case Study Framework. **International Journal of Innovation and Technology Management**, 2020.
- ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em questão**, v. 12, n. 1, p. 11–32. Porto Alegre, 2006.
- ARAÚJO, C. G.; OLIVEIRA, F. H. F. Embraer: um caso de imitação à inovação. **Economia e Desenvolvimento**, v. 32, n. 1, p. e6, 2020.
- ATKIN, B.; BILDSTEN, L. A future for facility management. **Construction Innovation**, v. 17, n. 2, p. 116–124, 2017.
- BEN-DAYA, M. *et al.* **Handbook of Maintenance Management and Engineering**. London: Springer London, 2009.
- BERGER, R. **On the digital Track: Leveraging digitization in rolling stock maintenance**. Disponível em: <https://www.rolandberger.com/en/Media/On-the-digital-track.html>. Acesso em junho de 2022.
- BROWN, T. **Design Thinking: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2020.
- BROWN, T.; KATZ, B. Change by Design. **Journal of Product Innovation Management**, v. 28, n. 3, p. 381–383, 2011.
- BURDEK, B. **História, teoria e prática do design de produtos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.
- CAMPOS, A. G. A terceirização no Brasil e as distintas propostas de regulação. In: **Ipea: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, p. 14. Brasília, 2018.
- CARLSON. **Effective FMEAS: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis**. New Jersey: Wiley, 2012.
- CAUCHICK, M.P.A. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução**. Pro. [online]. v.17, n1, pp.216-229, 2007. ISSN 1980-5411
- FERNANDES, D.R. **Uma Visão Sobre a Análise da Matriz SWOT como Ferramenta para Elaboração da Estratégia**. UNOPAR Cient., Ciênc. Juríd. Empres. Londrina, v. 13, n. 2, p. 57-68, Set. 2012.

- FOGLIATTO, F.S.; RIBEIRO, J.L.D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- FRASER, K. Facilities management: the strategic selection of a maintenance system. **Journal of Facilities Management**, v. 12, n. 1, p. 18–32, 2014.
- GARG, A.; DESHMUKH, S. G. Maintenance management: literature review and directions. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 12, n. 3, p. 205–238, 2006.
- HEVNER, A. A three Cycle View of Design Science Research. **Scandinavian Journal of Information Systems**, v. 19, article 4, 2007.
- HYEOG-IN K., BO-HYUN B., YONG-SU J., YE-LIN KIM, & HWA-BIN J. Key factors of service design methodology for manufacturing servitization. **Cogent Business & Management**, v. 8, Iss. 1, 2021.
- IFMA, **International Facilities Management Association**. Disponível em: <<https://www.ifma.org/about/what-is-facility-management/>>. Acesso em: 31/12/2021.
- JENSEN, P. A. Business models in facilities management value chains. **Journal of Corporate Real Estate**, v. 21, n. 4, p. 307–323, 2019.
- JENSEN, P. A.; NIELSEN, K.; NIELSEN, S. B. **Facilities Management Best Practice in the Nordic countries 36 cases**. p. 301, 2008.
- LACERDA, D.P; *et al.* Design Science Research: Método de pesquisa para a Engenharia de Produção. **Gestão da Produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013
- LEVITT, J. **Complete guide to preventive and predictive maintenance**. New York: Industrial Press, 2011.
- MAXIMIANO, A. C. A. **Teoria Geral da Administração: da revolução urbana à revolução digital**. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- MAARAVI, Y. et al. Ideation in the digital age: literature review and integrative model for electronic brainstorming. **Review of Managerial Science**, v. 15, n. 6, p. 1431–1464, 2020.
- MICHELI, P. et al. Doing Design Thinking: Conceptual Review, Synthesis, and Research Agenda. **Journal of Product Innovation Management**, v. 36, n. 2, p. 124–148, 8 set. 2018.
- MUDRAK, T.; VAN WAGENBERG, A.; WUBBEN, E. Innovation process and innovativeness of facility management organizations. **Facilities**, v. 23, n. 3/4, p. 103–118, 2005.
- NAKATA, C.; HWANG, J. Design thinking for innovation: Composition, consequence, and contingency. **Journal of Business Research**, v. 118, p. 117–128, 2020.
- NARDELLI, G. Innovation dialectics: an extended process perspective on innovation in services. **The Service Industries Journal**, v. 37, n. 1, p. 31–56, 2017.
- NARDELLI, G.; RAJALA, R. The evolution of facility management business models in supplier-client relationships. **Journal of Facilities Management**, v. 16, n. 1, p. 38–53, 2018.
- MANUAL, Oslo. Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation. **The measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities**. 4 ed. 255p., 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1787/9789264304604>>. Acesso em: 29 de agosto de 2020.

- OLIVEIRA, M. A.; LOPES, I.; FIGUEIREDO, D. L. Maintenance Management Based on Organization Maturity Level. **International Conference on Industrial Engineering and Operations Management**, p. 10, 2012.
- PARIDA, A.; CHATTOPADHYAY, G. Development of a multi-criteria hierarchical framework for maintenance performance measurement (MPM). **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 13, n. 3, p. 241–258, 2007.
- PRITCHARD, A. Statistical bibliography or bibliometrics. **Journal of Documentation**, v. 25, n. 4, p. 348-349, 1996.
- QUINELLO, R.; NICOLETTI, J. R. **Gestão de Facilidades**. São Paulo: Novatec, 2006.
- QUINELLO, R.; NICOLETTI, J. R. **Inovação Operacional**: Entenda como atitudes inovadoras aplicadas nos processos industriais podem agregar valor e alavancar a competitividade de sua empresa. Rio de Janeiro: Brasfort, 2009.
- RODRIGUEZ, J. B., & BENAVIDES E. M. Engineering design principles as patterns of relationships in frame creation. **Research in Engineering Design**, London, UK, 2021.
- YIN, R. K. **Case study research: Design and methods**. 5. ed. Los Angeles: Sage, 2009.
- SANHUEZA, K. S., & NIKULIN, C. A framework for design methods, models and techniques for product and process development: A novel classification to increase their applicability in practices. **Business Process Management Journal**, 25(7), p. 1759–1782, 2019.
- SARPIN, N. *et al.* A guideline for interpersonal capabilities enhancement to support sustainable facility management practice. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 140, 2018.
- SCHALLMO, D.; WILLIAMS, C. A.; BOARDMAN, L. Digital transformation of business models — best practice, enablers, and roadmap. **International Journal of Innovation Management**, v. 21, n. 08, p. 1740014, 2017.
- SCHLEINKOFER, U. *et al.* Development and Evaluation of a Design Thinking Process Adapted to Frugal Production Systems for Emerging Markets. **Procedia Manufacturing**, v. 39, p. 609–617, 2019.
- SCHUMPETER, J. A. **Teoria do Desenvolvimento Economico**: Uma Investigação Sobre Lucros, Capital, Crédito, Juro e o Ciclo Econômico. São Paulo: Nova Cultural, 1988.
- SIFONTE, J.; REYES-PICKNELL, J. V. **Reliability centered maintenance - reengineered: practical optimization of the RCM process with RCM** - R. Boca Raton: Crc Press, Taylor & Francis Group, Crc Press Is An Imprint Of The Taylor & Francis Group, An Informa Business, 2017.
- SIMÕES, J. M.; GOMES, C. F.; YASIN, M. M. A literature review of maintenance performance measurement: A conceptual framework and directions for future research. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 17, n. 2, p. 116–137, 2011.
- SIMONA, E.; FERNANDES, R.; VARGAS, V. A influência do Design no Business Model Canvas: interfaces possíveis entre os campos do Design e da Administração. **Design e complexidade**, 2017.
- SUNDBO, J. Management of Innovation in Services. **The Service Industries Journal**, v. 17, n. 3, p. 432–455, 1997.

THURGOOD, C., DORST, K., BUCOLO, S., VAN DER BIJL-BROUWER, M., & VERMAAS, P. Design Innovation for Societal and Business Change. **International Conference on Engineering Design**, Iced15. 27-30 July, Politecnico di Milano, Italy, 2015.

VASCONCELOS, L.; TEOFILO, V.; BEM, R.; AMARAL, P.; NEVES, A. Um Modelo de Classificação para Metodologias de Design. **Anais 9º. Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**, 2009.

VIANNA, M. *et al.* **Design Thinking: Inovação em Negócios**. Rio de Janeiro: MJV Press, 2012.

WU, M. Design innovation the role of design in combining process and product innovation. **IEEE Tsinghua International Design Management Symposium**, p. 212-216, 2013.