

Aplicação do FMEA na Montagem de uma Bicicleta: Um Estudo de Caso numa Oficina de Bicicletas na Cidade de Tabuleiro do Norte-CE

Levi Maia Rodrigues, Ana Cláudia Souza Vidal de Negreiros

Resumo: A aplicação de ferramentas que visem a obtenção de maiores níveis de confiabilidade nos processos é muito importante para se manter competitivo em diversos mercados. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo aplicar a metodologia FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) na montagem de uma bicicleta, visando identificar os possíveis modos de falhas desse processo e propor melhorias. Para isso, foi observado todo o processo de montagem de uma bicicleta em uma oficina mecânica especializada em bicicletas, localizada na cidade de Tabuleiro do Norte – CE. Os resultados mostraram diversos modos de falhas que podem ocorrer para cada componente da bicicleta, além disso, foi possível propor ações para prevenir tais falhas, o que levou a uma redução do RPN (*Risk Priority Number*) de diversos componentes analisados. Essa aplicação mostrou que é possível aumentar a confiabilidade dos serviços da referida oficina com a utilização de técnicas simples, mas, eficazes, como o FMEA.

Palavras-chave: FMEA; montagem de bicicleta; confiabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A crescente busca para uma vida mais ativa aumentou significativamente frente aos desafios contemporâneos, pessoas buscando por atividades físicas que os ajudassem a ter uma qualidade de vida melhor. Nesse sentido, uma das atividades mais buscadas nos últimos tempos foi o ciclismo, que teve um aumento considerável, sobretudo, durante o período de pandemia [1]. Não é segredo que a prática de andar de bicicleta traz inúmeros benefícios para a saúde, tais como, ajuda na perda de peso, promove um bem-estar físico e mental e aumento da força muscular [2].

Conjuntamente com essa ascensão do ciclismo, acontece o aumento de oficinas que trabalham com o reparo e manutenção das bicicletas. Havendo também o acirramento nesse mercado, com a disputa de preços e qualidades dos equipamentos. Além disso, houve a necessidade de a empresa se aprimorar e investir na capacitação dos seus funcionários [3].

Considerando o ciclismo, para uma prática segura, é essencial ter um equipamento de confiança. Com isso as oficinas também precisam melhorar seus serviços e processo na intenção de atender o cliente da melhor forma. Nesse contexto, a utilização de ferramentas como o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), em português “Análise de Modo e Efeitos de Falha”, para identificar e mitigar possíveis defeitos é interessante para a identificação e análise de modos de falhas, o que permitirá o oferecimento de um serviço de qualidade e confiança. É necessário que a empresa busque uma boa gestão de qualidade, para garantir o aumento do desempenho de todos os processos, dos produtos e até mesmo do ambiente de trabalho através de todas suas ferramentas e técnicas, visando satisfação dos clientes [4]. A utilização do FMEA irá promover uma discussão sobre o processo de montagem de componentes de uma bicicleta e mostrar as melhorias que a ferramenta poderá promover sendo devidamente aplicada [5].

A FMEA é uma ferramenta preciosa, tendo em vista que possibilita a análise e a detecção sistemática de potenciais falhas em produtos ou processos, permitindo a identificação de ações corretivas para reduzir ou eliminar falhas e a formulação de planos de ação para implementar as medidas necessárias [6]. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é a aplicação de uma ferramenta de qualidade FMEA em uma oficina de bicicletas, especificamente aplica-la no processo de montagem de uma bicicleta específica (Mountain Bike). Essa oficina localiza-se na cidade de Tabuleiro do Norte – CE. O foco é examinar a execução da montagem para identificar e corrigir falhas e práticas inadequadas antes que possam causar problemas futuros, comprometendo o funcionamento adequado do equipamento ou gerando um desconforto durante a atividade física. Além disso, busca-se evitar prejuízos financeiros decorrentes do investimento em peças defeituosas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Oficina de Bicicletas

Uma oficina de bicicletas é um negócio que tem como objetivo resolver qualquer problema de funcionamento de uma bicicleta, assim, deverá realizar o reparo oferecendo todo tipo de solução para os funcionamentos mecânicos indesejados de uma bicicleta, corrigir danos sofridos pela bicicleta por meio de manutenções corretivas realizadas por profissionais capacitados do estabelecimento e conservar as bicicletas através das manutenções preventivas que proporcionarão o aumento da durabilidade dos equipamentos evitando que ele sofra desgastes por danos causados durante o uso contínuo [7]. Além dos serviços ofertados, a oficina de bicicleta pode oferecer equipamentos para agregar valor ao estabelecimento e alternar a forma de renda do proprietário por meio de bicicletas novas, peças e acessórios e apetrechos necessários para a prática do ciclismo (capacetes, roupas, caramanchos, etc) [7].

2.2. Ferramenta FMEA

A ferramenta FMEA pode ser conceituada com uma metodologia sistemática utilizada em diversos setores para identificar, analisar e reduzir modos de falha potenciais em sistemas, produtos ou processos. Com uma história que remonta a várias décadas, a FMEA evoluiu ao longo do tempo e se estabeleceu como uma ferramenta essencial para aprimorar a qualidade, confiabilidade e segurança em produtos e processos [8]. Embora essa metodologia tenha diversas aplicações em áreas abrangentes, sua função fundamental não varia: identificar possíveis falhas e analisar suas consequências dentro de um ambiente de trabalho. Essa ferramenta é de grande importância, pois sua aplicação em diversos ambientes contribui significativamente para aumentar a confiabilidade de produtos e processos variados [8].

O método FMEA teve suas utilizações iniciais por volta da década de 1940, foi desenvolvida por militares buscando analisar melhor algumas falhas em serviços na área militar [9]. Sua função era encontrar possíveis causas de defeitos em potencial nos sistemas ou equipamentos [10]. O FMEA teve seu aperfeiçoamento no ano de 1960 pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), especificamente no programa Apollo, buscando também evitar falhas nos equipamentos utilizados, uma vez que não teria como repará-los durante e pós os lançamentos [11].

Após o FMEA ser utilizado pela NASA, no ano de 1988 esse método foi introduzido no ramo automobilístico graças ao sucesso que vinha obtendo em diversas aplicações e desenvolvimentos de processos [12]. Assim, a empresa Ford Motor Company adotou essa ferramenta para realizar avaliações de falhas ligadas ao processo automobilístico [9,13]. Desde então, o FMEA vem sendo utilizado por diversas indústrias sempre buscando elevar o grau de qualidade e confiabilidade dos seus produtos e processos.

2.2.1. Tipos de FMEA

Existem dois tipos principais de FMEA, o de projeto/produto (DFMEA - *Design Failure Mode and Effects Analysis*) e o de processos (PFMEA - *Process Failure Mode and Effects Analysis*). As personalizações adicionais no FMEA podem melhorar o desempenho dessa ferramenta em uma organização específica, pois levam em conta características únicas e particulares de cada projeto, dessa forma, será possível selecionar qual tipo de FMEA é mais adequado para o que se deseja [11].

O FMEA de produto ou projeto leva em consideração as possíveis falhas que podem ocorrer ao analisar as especificações de um projeto ou no desenvolvimento de um produto, sua função é prever e prevenir possíveis falhas na criação de produtos e na elaboração de projetos [9]. Essa ação deve ser realizada antes que o produto final ou o projeto sejam encaminhados aos consumidores, garantindo que todas as falhas potenciais sejam identificadas e corrigidas de antemão para assegurar a qualidade e as exigências estabelecidas [11].

Por outro lado, o FMEA de processos é uma ferramenta para previsão de problemas que envolve um procedimento para o desenvolvimento e a execução de processos ou serviços, sejam eles novos ou revisados, podendo também servir como um registro contínuo do processo ou serviço [14]. Nesse sentido, utilizando-se o PFMEA é possível prevenir problemas com baixo risco e identificar soluções eficientes e econômicas através de uma abordagem estruturada para a avaliação, implementação e atualização de processos em toda a organização [14].

Além dos dois tipos de FMEA citados, há ainda a existência de outros dois tipos, o FMEA de sistema e o FMEA de serviço. O primeiro tem como objetivo analisar sistemas no início da sua criação, ela mantém o foco em prever as falhas concernente as suas aplicabilidades e nas exigências feitas pelos clientes. Já o FMEA de serviço é uma variação da PFMEA e tem como finalidade a análise e estipulação das falhas em potencial, além da execução de medidas que irá investigar e corrigir possíveis erros antes que aconteça a primeira inicialização do sistema [11].

2.2.2. Funcionamento do FMEA

Além de ser classificado como ferramenta, o FMEA também pode ser visto como um procedimento e um diário. Como ferramenta, esse método tem uma alta eficácia na prevenção de problemas e ao mesmo tempo é de baixo risco. Na forma de procedimento, o FMEA disponibiliza um desenvolvimento do produto através de uma abordagem em sua estrutura que irá conduzir a resultados eficazes. E em forma de diário, deve ter uma inicialização

na concepção do produto e permanecer-se até o ciclo de vida de mercado chegar ao fim [15].

Essa metodologia possui, de forma resumida, dois estágios de funcionamento e aplicação. Durante o primeiro estágio, prováveis erros e falhas de um produto ou processo e seus efeitos negativos e prejudiciais são detectados. No segundo estágio, a equipe responsável por utilizar o FMEA faz uma avaliação e determina o nível crítico das falhas, atribuindo uma pontuação de risco a cada uma delas e classificando-as em ordem de prioridade. A falha com a pontuação mais alta ocupa a primeira posição no ranking e é priorizada para a implementação de ações corretivas [13].

O modo em que a ferramenta FMEA prioriza as falhas que são detectadas referem-se ao cálculo do RPN (*Risk Priority Number*). O RPN representa o resultado da multiplicação de três índices representado na equação $RPN = (S) \times (O) \times (D)$, onde a empresa que fizer uso dessa ferramenta, adotará seus critérios para a definição dos índices da melhor forma que lhe couber [9]. Aoki e Saes [9] explicam também que há existem critérios para realizar o cálculo de RPN que são os seguintes índices:

- Índice de Severidade (S): Esse índice vai informar a gravidade do efeito da falha em potencial, a severidade da falha irá aplica-se somente ao efeito, correspondendo à gravidade.
- Índice de Ocorrência (O): Irá indicar a probabilidade que uma causa de falha ocorrer.
- Índice de Detecção (D): Probabilidade que os controles atuais tenham a capacidade de fazer a prevenção das falhas antes que um cliente consiga detectar [9,13].

Esses três índices têm o cálculo baseado em uma escala de 1 ao 10, sendo 1 como o valor de uma baixíssima relevância e o 10 como uma relevância altíssima de grau da falha, assim o “Nível de Risco” ou RPN terá valores limites de até 1000, portanto os valores mais altos de RPN estará ligado diretamente a prioridade em que os modos de falhas deverão ser tratados [9].

Os quadros e a tabela apresentados abaixo apresentam alguns exemplos de situações para se estipular os índices de severidade, ocorrência e detecção. No Quadro 1 tem-se os valores dos índices para a severidade das falhas. A Tabela 1 traz os parâmetros para identificação da ocorrência e o Quadro 2 traz os parâmetros para o índice da detecção.

Quadro 1. Parâmetros para determinação do índice de severidade. [15]

Índice	Severidade	Crítérios governamentais.
1	Nenhum	Nenhum efeito perceptível.
2	Muito Pequena	Cliente mal percebe a falha. Efeito muito leve sobre o desempenho do sistema.
3	Pequena	Cliente percebe a falha. Mínimo efeito sobre o desempenho do sistema
4	Mínima	Cliente começa a ficar irritado. Pequeno efeito sobre o desempenho do sistema.
5	moderada	Cliente um pouco insatisfeito. Efeito moderado sobre o desempenho do sistema.
6	Significativa	Desconforto do cliente. Performance degradada do produto ou sistema. Falha parcial, mas operável
7	Alta	Cliente insatisfeito. Performance do produto ou sistema é gravemente afetada.
8	Extrema	Cliente muito insatisfeito. Produto ou sistema inoperável, mas seguro.
9	Grave	Efeitos potenciais críticos. Possibilidade de danos físicos aos clientes e complicações com regulamentações governamentais.
10	Perigosa	Efeitos críticos e repentinos. Relacionados com a segurança dos clientes (quando há risco de morte) e não conformidade com regulamentações.

A ocorrência na Tabela 1, refere-se à classificação do valor correspondente à frequência estimada das falhas que podem ocorrer devido a uma causa específica.

Tabela 1. Parâmetros para determinação do índice de ocorrência. [15]

Índice	Ocorrência	Crítério	Proporção
1	Quase nunca	Insucesso improvável. Não há histórico de falhas.	1:1.000.000
2	Muito remota	Falhas raras.	1:20.000
3	Remota	Suscetível a pouquíssimas falhas.	1:4.000
4	Muito baixa	Suscetível a poucas falhas.	1:1.000
5	Baixa	Falhas ocasionais.	1:400
6	Moderada	Moderado número de falhas.	1:80
7	Moderadamente	Moderadamente elevado número de	1:40

		insucessos prováveis.	
8	Alto	Alto número de falhas prováveis.	1:20
9	Muito alto	Muito alto o número de falhas prováveis.	1:8
10	Quase certa	Falhas quase certas. Histórico da existência de falhas em projetos semelhantes.	1:2

Quadro 2. Parâmetros para determinação do índice de detecção. [15]

Índice	Deteção	Critério
1	Quase certa	Técnicas conhecidas e comprovadas disponíveis.
2	Muito alta	Análises de computador disponíveis no início do projeto.
3	Alta	Uso de simulação e/ou modelagem nas fases iniciais do projeto.
4	Moderadamente	Ensaio em protótipos nas fases iniciais.
5	Moderada	Ensaio nos itens antes da produção.
6	Baixa	Ensaio em itens similares.
7	Muito Baixa	Ensaio no produto através de usando protótipos nas fases finais do projeto.
8	Remota	Testes de durabilidade nas fases finais do projeto.
9	Muito remota	Apenas técnicas não confiáveis disponíveis.
10	Quase impossível	Nenhuma técnica conhecida disponível.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. Caracterização da empresa

De forma geral, para garantir o bom funcionamento de uma bicicleta, é essencial entender amplamente os conceitos envolvidos na sua montagem, incluindo os componentes, suas funções e as ferramentas adequadas para unir as partes. Além disso, é importante realizar a manutenção necessária durante e após o processo de montagem. A experiência do profissional também deve ser considerada, pois ela permite uma montagem mais ágil e uma maior afinidade com cada componente da bicicleta. Isso resulta em uma junção mais eficiente e precisa das partes [16].

Nesse contexto, a oficina de bicicletas objeto de estudo deste trabalho foi fundada no ano de 2010, está localizada na cidade de Tabuleiro do Norte-CE e, de forma geral, trabalha sempre buscando promover um alto nível de confiança através de serviços de qualidade. Tendo como especialidade em manutenção preventiva como revisão geral ou dos rolamentos presentes em uma bicicleta a fim de evitar danos às peças por uso repetitivo do equipamento e manutenção corretiva visando consertar ou trocar todas as peças com alguma falha ou desgaste provocada pelo uso diário, em passeios, treinos ou competições. A referida oficina realiza diversos tipos de serviços, tanto em *Mountain Bikes* (bicicletas de trilha) como *Road Bikes* (bicicletas de estrada), tudo para os clientes terem uma ampla gama de serviços oferecidos.

Além dos serviços de reparo ofertados, há uma loja de peças e utensílios para os ciclistas, sempre buscando oferecer uma grande variedade de marcas para quem é do mundo do ciclismo. Oferece ainda bicicletas novas e seminovas, além das peças e equipamentos essenciais de uso para todos que utilizam esse tipo de meio de transporte. As Figuras 1 e 2 trazem fotos da oficina.

3.2. Montagem e ferramentas necessárias

Ao iniciar a montagem de uma bicicleta, é fundamental ter o conhecimento adequado sobre os componentes e a função que cada um desempenhará durante o seu uso, pois não é um processo fácil, isso também inclui o conhecimento da forma como cada componente afeta o desempenho e o conforto do ciclista. Uma compreensão sobre a anatomia da bicicleta ajudará o mecânico a identificar imperfeições e problemas antes mesmo que isso resulte em uma falha mais grave ou até mesmo um indesejado acidente com o ciclista. O Quadro 3 mostra os componentes de uma bicicleta.

Além dos componentes que garantem o funcionamento da bicicleta, existem outros objetos que não impactam no seu conforto e desempenho diretamente, mas que são fundamentais para um passeio mais confortável e seguro [17]. Esses outros itens são mostrados no Quadro 4.



Figura 1. Loja de Peças. (Autoria Própria)



Figura 2. Oficina de Bicicletas. (Autoria Própria)

Quadro 3. Componentes de uma bicicleta. (Autoria Própria)

COMPONENTES	FUNÇÃO
Quadro	É a parte que fará a junção de todos os demais componentes.
Canote	Estrutura acoplada ao quadro e o lugar onde o selim ou cela de bicicleta se encaixará.
Selim	Lugar onde o ciclista usa para sentar durante a atividade física.
Avanço	Componente que segura o guidão.
Guidão	Lugar onde o ciclista apoiará as mãos e guiará a bicicleta.
Suspensão Dianteira (Garfo)	Responsável por segurar a roda dianteira e fazer o amortecimento de impactos.
Rodas	Onde sustentará o peso do ciclista e da bicicleta, composta por cubos (eixos), raios, aros e pneus.
Transmissão	Componente onde o ciclista irá aplicar força para fazer a bicicleta entrar em movimento, composta pelos pedais, pedivela, movimento central, coroa, catraca, corrente, câmbio dianteiro, câmbio traseiro e passador de marchas.
Freios	Tem função de realizar a frenagem da bicicleta.

Quadro 4. Componentes extras. (Autoria Própria)

COMPONENTES	FUNÇÃO
Bombas de Encher Pneus	Fará a calibragem de ar correta nos pneus.
Suporte de Garrafas	Onde armazenará a garrafa com água.
Garrafa de Água	Responsável de armazenar água ou bebidas com suplementos para a hidratação.
Luz Dianteira	Responsável por iluminar o caminho.
Luz Traseira	Responsável por indicar a presença do ciclista em uma estrada.

Durante o processo de montagem de uma bicicleta, é muito importante poder contar com um ambiente adequado e ferramentas específicas de alta qualidade. O mecânico deve ter à disposição os equipamentos necessários para a montagem e manutenção, além de um conhecimento claro sobre quais instrumentos usar em cada parte específica relacionada aos componentes da bicicleta. A qualidade da matéria-prima das ferramentas impacta diretamente sua durabilidade. Como as ferramentas são usadas várias vezes, um material de baixa qualidade sofre com um alto desgaste, o que pode reduzir drasticamente sua vida útil [16].

Com a variedade de componentes presentes em uma bicicleta, a diversidade de ferramenta no arsenal de um mecânico deve ser extensa. Essa variedade permite que ajustes e manutenções sejam feitos das maneiras mais adequadas em cada parte da bicicleta, garantindo um desempenho ideal e evitando danos às peças. Cada grupo de ferramentas tem suas utilidades fundamentais e usos corretos. O Quadro 5 mostra as ferramentas essenciais e suas funções.

Quadro 5. Ferramentas. (Autoria Própria)

FERRAMENTAS	FUNÇÃO
Bancada	Local onde fica todas as ferramentas necessárias para a manutenção.
Suporte de tripé	Suspende a bicicleta para um maior conforto na hora dos ajustes.
Alicates	Úteis para várias aplicações, como ajuste e regulagem dos cabos e manuseio de pequenas peças.
Chaves Allen	Utilizadas para dar o aperto ou a folga a diversos parafusos.
Chaves de boca e combinadas	Essenciais para ajustar parafusos e porcas nas rodas.
Chaves de torque	Utilizada para apertar os componentes com a força correta, evitando torques excessivos, assim evitando danos às peças.
Chaves de fenda e Philips	Tem a função de apertar e remover parafusos.
Compressor de ar	Para encher as rodas da bicicleta.
Calibrador	Serve para dar a calibragem escolhida pelo cliente.

Quando se trabalha com as ferramentas adequadas, as chances de haver desgastes ou danos indesejados são reduzidos drasticamente. Assim, manter todas as ferramentas em um bom estado e calibradas, implicará no sucesso do trabalho que se almeja finalizar. Instrumentos bem preservados, oferecem uma maior precisão e eficiência durante o processo de serviço, aumentando também a confiança do mecânico sobre o utensílio [18].

3.3. Etapas dos procedimentos metodológicos deste estudo

Para compreender claramente o funcionamento deste estudo, foi necessário elaborar um passo a passo detalhado de cada etapa envolvida na aplicação da ferramenta FMEA, a montagem de bicicletas incluindo a separação dos componentes e os resultados observados após a implementação do FMEA ao longo do processo.

A princípio foi feita uma revisão da literatura para uma melhor compreensão e entendimento do funcionamento da ferramenta FMEA e do processo de montagem de uma bicicleta, durante a revisão da literatura, foi identificado qual tipo de FMEA seria mais eficaz para obtenção dos resultados esperados nesse estudo e conceitos necessário juntamente com os cuidados no momento da montagem de uma bicicleta. Logo em seguida, foram feitas visitas no local (na oficina) onde seria aplicado esse estudo, ao longo de 2 semanas, a fim de esclarecer o funcionamento da ferramenta para os colaboradores envolvidos na pesquisa e acompanhar como é feito o processo de montagem de uma bicicleta, logo após uma reunião foi marcada para decidir a equipe que ficaria responsável pelo o FMEA, então sequencialmente foi formada o grupo com os profissionais capacitados do local e discutidos os objetivos do trabalho.

Os dados necessários foram obtidos através das observações e análises aos componentes desmontados e seus meios de funcionamento. Em seguida, foram feitas análises para se determinar a melhor aplicação do FMEA nesse processo, chegando à conclusão de que essa abordagem seria mais eficaz para identificar as possíveis falhas dos componentes durante o processo de montagem e para elaborar ações que reduzam ou eliminem os defeitos. Em seguida o FMEA de processo foi aplicado ao processo de montagem da bicicleta, o RPN foi calculado e os resultados foram analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho teve como objetivo realizar a aplicação da ferramenta FMEA de processos na atividade de montagem de uma bicicleta, com o intuito de prever os possíveis modos de falhas, além de mitigar falhas existentes. O foco é a diminuição dos modos de falhas e a extinção das falhas observadas ao do processo.

Tabela 2. Tabela FMEA. (Autoria Própria)

COMPONENTES	FUNÇÃO	MODO DE FALHA EM POTENCIAL	EFEITO POTENCIAL DA FALHA	S	CAUSA E MECANISMO POTENCIAL	O	D	NPR	AÇÕES RECOMENDADAS	AÇÃO TOMADA	RESULTADO			
											S	O	D	NPR
Movimento Central	Girar o pedivela	Desgastes dos rolamentos	Travamento do pedivela	9	Lubrificação inadequada	9	7	567	Substituição do componente	Manutenção dos componentes	6	7	3	126
									Lubrificação adequada					
Pedivela	Transmissão de força	Oxidação do encaixe	Solda a frio dos componentes	9	Limpeza não frequente	3	4	108	Manutenção Corretiva	Manutenção dos componentes	3	5	3	45
					Lubrificação inadequada				Lubrificação adequada					
Pedal	Transmissão de força	Instabilidade do eixo	Quebra do pedal	9	Manutenção inadequada	5	2	90	Manutenção preventiva	Manutenção dos componentes	5	3	2	30
Catraca	Transmitir a força a roda traseira	Desgaste do componente	Ineficiência de uso	9	Uso e manutenção inadequada	5	1	45	Manutenção preventiva	Manutenção dos componentes	9	5	1	45
Coroa	Receptor da força do pedivela	Desgaste	Ineficiência de uso	8	Torque excessivo	3	2	48	Limpeza adequada	Manutenção dos componentes	5	4	1	20
		Folga nos parafusos de fixação	Instabilidade do componente		Limpeza irregular				Manutenção corretiva					
Corrente	Transmitir força da coroa para a catraca	Desgaste	Impossibilita a locomoção	10	Troca de marcha indevida	2	1	20	Manutenção preventiva	Manutenção dos componentes	10	2	1	20
Câmbio de marcha	Mudança de transmissão	Desgaste nos seu componentes	Ineficiência na troca de marchas	3	Mal uso	9	2	54	Ensino da utilização correta	-	3	9	2	54
Caixa de direção	Conecta o garfo ao quadro	Rigidez na direção	Instabilidade da suspensão	8	Lubrificação inadequada	7	7	392	Manutenção corretiva	Manutenção dos componentes	6	5	5	150
Suspensão (Garfo)	Segurar a roda dianteira	Travamento das hastes	Inutilização do amortecimento da suspensão	4	Falta de manutenção	10	1	40	Manutenção preventiva	-	4	10	1	40
	Absoção de impactos													
Avanço	Transmitir o giro do guidão para o garfo	Desgaste das roscas	Impossibilita a locomoção	10	Torque excessivo	2	1	20	Manutenção corretiva	Manutenção dos componentes	5	2	1	10
Guidão	Controla a direção da bicicleta	Quebra	Impossibilita a locomoção	10	Corrosão pelo suor	2	1	20	Manutenção preventiva	-	10	2	1	20
Freios	Parar a bicicleta	Quebra do cabo de frenagem	Frenagem insuficiente	8	Oxidação	2	1	16	Manutenção preventiva	Manutenção dos componentes	4	2	1	8
Quadro	Suportar os componentes	Quebra	Inutilização	10	Oxidação	2	7	140	Vistoria	-	10	2	7	140
Canote	Sustentar o peso do ciclista	Empeno	Quebra do canote	6	Material fragil e peso excessivo	4	1	24	Vistoria	-	6	4	1	24
Selim	Acomodar o ciclista	Rasgo do estofamento	Desconforto	2	Mal uso	7	1	14	Vistoria	-	2	7	1	14
Rodas	Locomoção da bicicleta	Furo de Pneu	Pneu secar	7	Terro irregular	10	1	70	Manutenção Preventiva/Corretiva e Troca de componentes	Manutenção Corretiva	4	5	1	20
		Quebra de raios	Instabilidade da roda	7	Alto impacto	6	3	126		Manutenção Corretiva	5	4	3	60
		Desgaste das esferas	Travamento do giro da roda	8	Lubrificação inadequada	9	7	504		Manutenção dos componentes	4	5	7	140
		Quebra do eixo	Inutilização da roda	10	Alto impacto	5	7	350		Troca de componentes	1	1	3	3
		Empeno do aro	Instabilidade da roda	7	Alto impacto	4	2	56		Manutenção dos componentes	5	4	2	40

Em seguida, foi verificada a caixa de direção, que é uma parte responsável por conectar o garfo ao quadro. Um dos modos de falha identificados é a rigidez na direção, que pode resultar em instabilidade na suspensão. Foi alocada a esse componente uma severidade igual a 8. Logo após, a suspensão (garfo) foi analisada, a mesma tem a função de absorver impactos e suportar a roda dianteira. O modo de falha identificado foi o travamento das hastes, o que resulta na ineficiência da absorção de impactos na roda dianteira. Essa falha foi classificada com severidade igual a 4.

Os componentes seguintes foram o avanço e o guidão, com consenso entre a equipe de que ambos desempenham funções essenciais para o movimento de direção da bicicleta. A interação entre esses dois componentes pode resultar em uma falha que impossibilita a locomoção do ciclista, levando a equipe a atribuir uma severidade de 10. Em seguida, os freios foram verificados, os mesmos têm a função de desacelerar as rodas da bicicleta. O modo de falha identificado foi a quebra do cabo de frenagem, geralmente resultante de oxidação. Essa falha pode levar a uma frenagem insuficiente, aumentando o risco de acidentes. Por isso, a equipe atribuiu uma severidade de 8 a essa situação.

O componente seguinte verificado foi o quadro, cuja função é suportar todos os demais componentes da bicicleta. Um modo de falha identificado foi a quebra, a causa pode variar desde uma pequena trinca até um problema de grande magnitude, inclusive, podendo resultar na impossibilidade de recuperar o quadro. A severidade atribuída pela equipe a essa falha foi 10. Logo após, o canote foi analisado, ele tem a função de suportar o selim junto com o peso do ciclista. Foi atribuído pela equipe o modo de falha empeno, podendo provocar uma quebra se esse componente receber um alto impacto. A equipe atribuiu uma nota de severidade igual a 6. Em seguida, o selim foi verificado, o mesmo tem a função da acomodação do ciclista, tem como modo de falha o rasgo no estofamento, o que pode gerar um desconforto para o ciclista. A severidade atribuída pela equipe foi 2.

Por fim, o último componente a ser analisado foi a roda, que é composta por cubos (eixos), raios, aros e pneus. Tem a função de fazer a locomoção da bicicleta. A equipe atribuiu vários modos de falhas por se tratar de um componente formado por várias peças, mas que todos possuem a mesma função que é a de locomoção da bicicleta. Cada parte apresenta um modo de falha diferente, o pneu pode ocorrer de furar, isso pode ocorrer, por exemplo, se o terreno for irregular, com uma severidade de 7. A quebra de raios por meios de altos impactos sofridos pela roda, com uma severidade de 7. O empeno do aro faz com que a roda tenha instabilidade, fazendo com que possa danificar o quadro, levando uma nota 7 da equipe. O modo de falha de um eixo é o desgaste das esferas, ocasionando um alto atrito entre elas e levando com que a roda seja impossibilitada de girar. A equipe atribuiu uma severidade 8. Uma falha encontrada durante a análise da roda, foi a quebra do eixo, sendo necessário fazer a troca, sendo atribuída uma nota 10 de severidade pela equipe.

Para realizar a definição da severidade, ocorrência e detecção de cada componente, a equipe fez uma reunião para decidir quais critérios seriam adotados para definir cada elemento. Para determinar a severidade, o foco da equipe foi a forma com o que essa falha afetaria o funcionamento da bicicleta, possibilitando ou não o funcionamento. A ocorrência foi determinada a partir frequência em que a falha era comum, levando em consideração as condições em que a peça se encontrava. Um detalhe analisado pela equipe, concluiu que as falhas eram detectadas com facilidade, pois a grande parte dos defeitos em alguns componentes eram perfeitamente visíveis, enquanto aos que restaram só precisaria de um leve toque para apresentar suas falhas. Depois de cada valor de severidade, ocorrência e detecção foram atribuídos aos componentes, o cálculo dos RPN's foi feito através da multiplicação dos elementos, onde temos: Severidade x Ocorrência x Detecção = Nível de risco ou RPN. Na Tabela 2 mostra os valores da severidade, ocorrência e detecção de cada componente e o valor do RPN antes e depois das ações tomadas serem executadas.

Logo após a severidade, ocorrência e detecção de cada componente serem definidos pela equipe, uma tabela foi construída para colaborar com a visualização de todos os dados obtidos por meio das análises e discussões de cada componente durante o avanço do processo. A seguir, a Tabela 3 mostra os resultados adquiridos dos dados coletados. Com as severidades, ocorrências e detecção definidos, foi atribuído um número de risco ou RPN, mostrando os componentes com maiores prioridades para que medidas preventivas e corretivas sejam feitas, levando em consideração o maior número de risco para o menor. A Figura 7 ilustra a diferença do número de risco dos componentes antes e depois que as manutenções foram realizadas. Essa figura mostra apenas os componentes que tiveram seus RPN's reduzidos.

A aplicação da ferramenta FMEA durante o processo de montagem da bicicleta se mostrou bastante eficaz com relação à identificação de possíveis falhas, para, assim, mitigá-las. A ferramenta junto com a experiência dos profissionais envolvidos contribuiu para que os possíveis modos de falhas fossem verificados premeditados, assim chegando no efeito das falhas com mais precisão e eficiência, evitando, possivelmente, que esse eventual problema aconteça. Como consequência, a confiabilidade dos serviços ofertados é elevada e o cliente tem suas exigências atendidas resultando em clientes satisfeitos. A identificação de forma antecipada de cada falha pode reduzir os custos relacionados a retrabalhos em questão de material utilizado para realização dos serviços e devoluções da bicicleta acompanhado de reclamações dos clientes. O documento das análises FMEA elaborado pela equipe, pode contribuir por meio do histórico que pode ser utilizado em treinamento de novos profissionais e efetuação de melhorias contínuas aos processos.

Tabela 3. S, O, D e RPN dos componentes. (Autoria Própria)

COMPONENTES	ANTES				DEPOIS			
	S	O	D	NPR	RESULTADO			
					S	O	D	NPR
Movimento Central	9	9	7	567	6	7	3	126
Pedivela	9	3	4	108	3	5	3	45
Pedal	9	5	2	90	5	3	2	30
Catraca	9	5	1	45	9	5	1	45
Coroa	8	3	2	48	5	4	1	20
Corrente	10	2	1	20	10	2	1	20
Câmbio de marcha	3	9	2	54	3	9	2	54
Caixa de direção	8	7	7	392	6	5	5	150
Suspensão (Garfo)	4	10	1	40	4	10	1	40
Avanço	10	2	1	20	5	2	1	10
Guidão	10	2	1	20	10	2	1	20
Freios	8	2	1	16	4	2	1	8
Quadro	10	2	7	140	10	2	7	140
Canote	6	4	1	24	6	4	1	24
Selim	2	7	1	14	2	7	1	14
Rodas	7	10	1	70	4	5	1	20
	7	6	3	126	5	4	3	60
	8	9	7	504	4	5	7	140
	10	5	7	350	1	1	3	3
	7	4	2	56	5	4	2	40

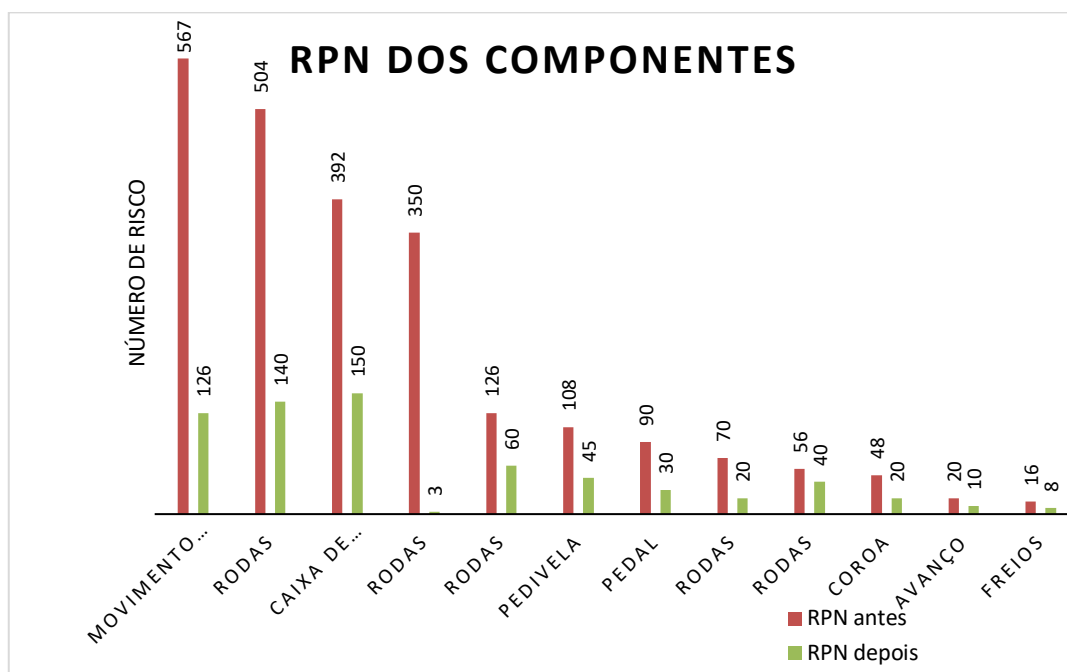


Figura 7. Diferença entre os RPN's antes e depois das manutenções. (Autoria Própria)

Apesar do estudo ter sido feito em apenas uma bicicleta, devemos levar em consideração que todas as bicicletas possuem componentes semelhantes, havendo chance de ter eventuais modos de falhas com bastante semelhança podendo se beneficiar desse estudo.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho objetivou a aplicação do FMEA de processos na montagem de uma bicicleta. A aplicação dessa ferramenta permitiu a identificação dos modos de falhas dos componentes da bicicleta, assim como a análise de tais componentes. Dessa forma, foi possível realizar o cálculo do RPN para cada componente da bicicleta, indicando quais componentes deveriam ter suas falhas mais profundamente analisadas. Dessa forma, foram feitas propostas para que os possíveis modos de falha fossem evitados, resultando em RPNs mais baixos.

O FMEA é uma abordagem sistemática para detectar e eliminar as ameaças em diversas áreas dos processos da produção. O foco desse estudo buscou evidenciar os benefícios que a aplicação da ferramenta FMEA gera no processo de montagem de bicicletas. Assim, a metodologia mostrou que é possível prever os modos de falhas, os seus efeitos e suas causas.

É possível concluir que todas as melhorias que essa ferramenta propôs durante a realização desse estudo poderá levar a uma maior confiabilidade nos serviços de reparos das bicicletas, consequentemente, os clientes ficarão mais satisfeitos com o serviço prestado. Além da aplicação em processos produtivos de montagem, especialmente no da montagem de uma bicicleta, o FMEA pode ser aplicado na fabricação das peças usadas na bicicleta ou em lojas de vendas dos mesmos, assim, pretende-se realizar novamente a aplicação dessa ferramenta em outros processos.

4. REFERÊNCIAS

- [1] NICHELE, Hermes Eduardo. Relações entre ciclismo e rede de saúde e o caso de Curitiba. Cad Metropole, São Paulo, v. 23, p. 993-1016, set./dez. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cm/a/Tj5bqS6nwmGLtMkfVvcX9cz/#>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- [2] PASSIG, Rafael Rabelo. O CICLISMO COMO PRÁTICA ESPORTIVA E DE LAZER NA GRANDE FLORIANÓPOLIS: benefícios à saúde em tempos de pandemia. 2022. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Educação Física, Centro de Desportos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/237534/TCC%20-%20Rafael%20Rabelo%20Passig.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 ago. 2024.
- [3] LACERDA, João. Profissionalização nas oficinas de bicicletas. 2021. Bicicleta News: Aliança Bike. Disponível em: <https://aliancabike.org.br/profissionalizacao-nas-oficinas-de-bicicletas/>. Acesso em: 04 set. 2024.
- [4] OLIVEIRA, Sandro Italo de; MIRANDA, Iasmin Alexandrino de; SOUSA, Daniele Almeida de; RAQUEL, Andhelyka Maria Alves. A importância de um sistema de gestão da qualidade para as empresas e seus impactos na cultura organizacional. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2018, Bauru, Sp. Anais eletrônicos. Bauru, 2018. p. 2-11. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/60327/1/2018_eve_sioliveira.pdf. Acesso em: 15 ago. 2024.
- [5] SAKURADA, Eduardo Yuji. As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Arvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtor. 2001. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- [6] SANTOS, Lucas Oliveira; SANTOS, Matheus Fernandes Souza; CASTRO, João Paulo do Prado; SOUZA, Wiliam Santos; CARDOSO, Johnatha Pinto. Análise dos modos de falha e seus efeitos (fmea): uma avaliação das publicações em periódicos nacionais e internacionais. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE, 9., 2017, Sergipe. Anais eletrônicos [...]. Sergipe, 2017. p. 81-93. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/7580/2/AnaliseModosFalha.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2024.
- [7] SEBRAE. Oficina de bicicletas. Ideias de negócios. Disponível em: https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/IDEIAS_DE_NEGOCIO/PDFS/ideia-de-negocio_oficina-de-bicicletas.pdf. Acesso em: 15 ago. 2024.
- [8] BASTOS, André Luís Almeida. FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) Como Ferramenta de Prevenção da Qualidade em Produtos e Processos –: uma avaliação da aplicação em um processo produtivo de usinagem de engrenagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006, Fortaleza, Ce. Anais eletrônicos [...]. Fortaleza, 2006. p. 1-8. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2006_TR470324_8144.pdf. Acesso em: 16 ago. 2024.
- [9] AOKI, Fábio T.; SAES, Elizangela V. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA EM UMA PEQUENA EMPRESA. Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção, Curitiba, v. 10, n. 18, p. 84-103, 10 mar. 2023.
- [10] AGUIAR, Dimas Campos. Histórico: Análise de Modos de Falha e Seus Efeitos. 2020. LinkedIn. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/hist%C3%B3rico-an%C3%A1lise-de-modos-falha-e-seus-efeitos-campos-de-aguiar>. Acesso em: 06 set. 2024
- [11] PARANHOS, Mayara de Melo; BACHEGA, Stella Jacyszyn; TAVARES, Dalton Matsuo; CALIFE, Naiara Faiad Sebba. Aplicação da análise de modo e efeitos de falha para o gerenciamento de riscos de um projeto. Sistemas & Gestão, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 444-454, 31 maio 2017. Laikos Servicos Ltda. <http://dx.doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n4.1150>.

-
- [12] AGUIAR, Dimas Campos de; MELLO, Carlos Henrique Pereira. FMEA de processo: uma proposta de aplicação baseada nos conceitos da iso 9001:2000. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos [...]. Rio de Janeiro, 2008. p. 2-14. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/297760162_FMEA_DE_PROCESSO_UMA_PROPOSTA_DE_APLICACAO_BASEADA_NOS_CONCEITOS_DA_ISO_90012000. Acesso em: 07 set. 2024.
- [13] LEAL, Fabiano; PINHO, Alexandre Ferreira de; ALMEIDA, Dagoberto Alves de. Análise de falhas através da aplicação do FMEA e da teoria Grey. Revista Gestão Industrial, Campus Ponta Grossa, v. 2, n. 1, p. 78-88, 1 jun. 2006. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). <http://dx.doi.org/10.3895/s1808-04482006000100008>.
- [14] COELHO, Fernando; PIERRE, Fernanda Cristina. Uso da metodologia PFMEA como vantagem competitiva para a análise de melhorias em um processo experimental. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, Bauru, v. 10, n. 4, p. 101-119, 28 out. 2015. A Fundação para o Desenvolvimento de Bauru (FunDeB). <http://dx.doi.org/10.15675/gepros.v10i4.1265>.
- [15] TONDIN, Renata; DREGER, Ademir Anildo; BARBOSA, Luiz Antonio. Melhoria no desenvolvimento de produto: uma aplicação da ferramenta FMEA. Revista Espacios, Rio Grande do Sul, v. 38, n. 6, p. 18, 2017. Rs. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n06/17380618.html>. Acesso em: 10 set. 2024.
- [16] BALLANTINE, R.; GRANT, R. Manual de Manutenção de Bicicletas: tudo o que você precisa saber para manter sua bicicleta nas melhores condições. Londres: Livros e Livros, 1994. 89 p. Disponível em: <https://cicloficina.pt/wp-content/uploads/2015/01/manualmanutencaobicicletas1.pdf>. Acesso em: 15 set. 2024.
- [17] CALOI. BICICLETAS ADULTAS AROS 26, 29 E 700: manual de instruções de condução e montagem. CALOI, Manaus, v.01, 2020. Disponível em: https://caloi.com/wp-content/uploads/2023/03/Manual-Proprietario_Bikes-Adultas_26-29-700_R04.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.