



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
Câmpus de Ilha Solteira

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

**Faculdade de Engenharia - Campus de Ilha Solteira**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Mecânica dos Sólidos**

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MANUTENÇÃO CENTRADA  
EM CONFIABILIDADE NO SISTEMA DE TRANSMISSÃO  
DE UM PROTÓTIPO FÓRMULA SAE**

**MATHEUS PEREIRA BARBOSA**

**Ilha Solteira - São Paulo**

**Junho de 2024**

**MATHEUS PEREIRA BARBOSA**

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM  
CONFIABILIDADE NO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE UM  
PROTÓTIPO FÓRMULA SAE**

Trabalho de graduação de apresentado junto ao programa de **Graduação em Engenharia mecânica** do **Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"**, como requisito parcial à obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Mecânica**.

**Orientador:**

Prof. Dr. Marcio Antônio Bazani.

**Ilha Solteira - São Paulo  
Junho de 2024**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B238a      Barbosa, Matheus Pereira.  
Aplicação do método de manutenção centrada em confiabilidade no sistema de transmissão de um protótipo Fórmula SAE / Matheus Pereira Barbosa. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024  
37 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) -  
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,  
2024

Orientador: Márcio Antônio Bazani

Inclui bibliografia

1. Manutenção . 2. Automobilismo . 3. Confiabilidade .

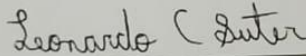
## ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos 21 dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte e quatro, as 19h30min, por videoconferência, no Departamento de Engenharia Mecânica, do Campus da UNESP, da Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira, o discente **Matheus Pereira Barbosa**, matriculado sob o número 162053983, tendo como banca examinadora, o orientador Prof. Dr. Marcio Antônio Bazani, o Engenheiro Mecânico Leonardo Camilo Suter e o Ph.D. Miguel Ângelo Menezes apresentou o Trabalho de Graduação intitulado: “Aplicação do método de manutenção entrada em confiabilidade no sistema de transmissão de um protótipo fórmula SAE”, obtendo a nota final 9,0.

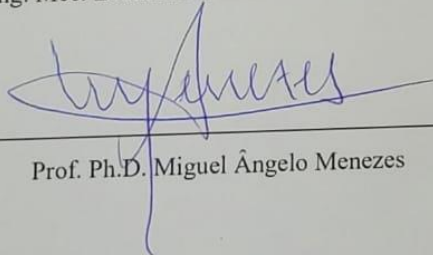
Por ser verdade, os membros da banca examinadora e o discente assinam em seguida.



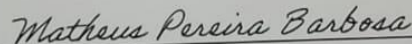
Prof. Dr. Marcio Antônio Bazani (Orientador)



Eng. Mec. Leonardo Camilo Suter



Prof. Ph.D. Miguel Ângelo Menezes



Matheus Pereira Barbosa (Discente)

## **IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA**

O impacto na sociedade desse trabalho é principalmente trazer o entendimento de como deve ser aplicada a metodologia MCC, uma vez que, essa metodologia é aplicada em larga escala pelo mercado atual, sendo sinônimo de maturidade dos processos de manutenção.

## **POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH**

The impact of this work on society is primarily to provide an understanding of how the MCC methodology should be applied, given that this methodology is widely used in the current market and is synonymous with the maturity of maintenance processes.

*Dedico este trabalho aos meus pais Eliane V. P. Barbosa e Aguinaldo J. Barbosa, meus maiores incentivadores em toda a minha vida e aos meus companheiros na Equipe Fênix Racing por todo o conhecimento construído durante os anos que passei na equipe.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiro a Deus.

Agradeço aos meus pais Aguinaldo e Eliane, que compartilharam comigo todo esse caminho, como bússolas corrigindo meu caminho, ou como lar em momentos difíceis.

Aos meus avós José Maria Pereira, Rute V. Pereira e Olinda J. Barbosa, amor e carinho durante toda a vida. Especialmente ao meu avô Justiniano J. Barbosa, que foi exemplo que a vida é construída pelo amor que carregamos dentro de nós e nunca podemos deixar de sorrir e agradecer por tudo que construímos.

Ao meu tio Wagner V. Pereira, por ter sido o exemplo de que a universidade pública era o meu lugar.

Agradeço meu orientador, Prof. Dr. Marcio Antônio Bazani, por todo o apoio durante a graduação seja na figura de professor, coordenador de curso, e orientador. Me fazendo enxergar com brilho nos olhos como a educação e engenharia são ferramentas importantes para a construção de uma sociedade justa e igual.

Ao Prof. Dr. Miguel Ângelo Menezes e todos os meus companheiros da Equipe Fórmula SAE, por toda a dedicação e noites acordados na oficina e que me ensinaram a ter garra e determinação em todos os momentos.

Agradeço aos meus companheiros no Cursinho Diferencial Andradina, que me permitiram mesmo com todos os desafios da educação pública, participar de sonhos e perpetuar a ideia de que a universidade pública é para todos.

Aos meus amigos Pedro Barbosa, Guilherme (Acerola), Alan (Tammy), Julian (Reta), Pedro Meneghetti (Sexta), Caio Lombardi, Rodrigo (Pedrita) e os demais amigos da república 5 bola que espero levar para toda a vida, que tornaram o caminho mais leve, com suas risadas, e companheirismo.

Por fim, expresso minha gratidão à UNESP de Ilha Solteira, ao corpo docente do curso de Engenharia Mecânica e a todos os colaboradores da instituição de ensino por contribuírem para minha formação.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”*

**Marthin Luther King**

## RESUMO

Considerando os desafios de custo e disponibilidade enfrentados pela Equipe Fênix Racing de Fórmula SAE devido à natureza da competição e às regras da categoria FSAE a confiabilidade é um dos aspectos. Nesse contexto, a aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) se mostra como uma metodologia crucial para aprimorar a eficácia da manutenção, resultando na redução de custos e minimização dos riscos associados. O presente trabalho, desenvolveu um plano de manutenção para o sistema de transmissão de um veículo Fórmula SAE, aplicando a metodologia da MCC. Visando otimização da manutenção em um ambiente de competição de engenharia automotiva, oferecendo insights valiosos para a elaboração de um plano de manutenção eficaz e eficiente.

**Palavras-chave:** Manutenção; automobilismo; Confiabilidade.

## ABSTRACT

Considering the cost and availability challenges faced by the Fênix Racing Formula SAE Team due to the nature of the competition and the rules of the FSAE category, reliability is one of the aspects. In this context, the application of Reliability Centered Maintenance (RCM) proves to be a crucial methodology to enhance maintenance effectiveness, resulting in cost reduction and risk minimization. This paper will develop a maintenance plan for the transmission system of a Formula SAE vehicle, applying the RCM methodology. Aimed at optimizing maintenance in an automotive engineering competition environment, it offers valuable insights for the development of an effective and efficient maintenance plan.

**Keywords:** Maintenance; motorsport; Reliability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Modelo de FMEA . . . . .	24
Figura 4.1 – Árvore Lógica de Decisão . . . . .	27
Figura 4.2 – Diagrama de Decisão para Seleção de Ações de Manutenção . . . . .	28
Figura 5.1 – Veículo FXX . . . . .	30
Figura 5.2 – Transmissão do veículo . . . . .	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Escala de Ocorrência . . . . .	26
Tabela 4.2 – Escala de Detecção . . . . .	26
Tabela 4.3 – Escala de Severidade . . . . .	26
Tabela 4.4 – Diagrama de Decisão para Seleção de Ações de Manutenção . . . . .	29
Tabela 5.1 – Custos totais . . . . .	31
Tabela 5.2 – Funções e Falhas Funcionais . . . . .	32
Tabela 5.3 – FMEA do sistema de Transmissão . . . . .	34
Tabela 5.4 – Planilha FMEA com Plano de manutenção proposto . . . . .	35

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
RPN	Risk Priority Number
SAE	Society of Automotive Engineers
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> . . . . .	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Manutenção</b> . . . . .	<b>19</b>
3.1.1	manutenção corretiva . . . . .	19
3.1.2	Manutenção Preventiva . . . . .	19
3.1.3	Manutenção Preditiva . . . . .	20
3.1.4	Manutenção Detectiva . . . . .	20
<b>3.2</b>	<b>Manutenção Centrada em Confiabilidade</b> . . . . .	<b>21</b>
3.2.1	Questões da MCC e passos de implementação . . . . .	21
<b>3.3</b>	<b>Análise de Modo e Efeito de Falha - FMEA</b> . . . . .	<b>22</b>
3.3.1	Instrumentalização e elementos da FMEA . . . . .	23
<b>4</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UM SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE UM VEÍCULO FÓRMULA SAE</b> . . . . .	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Análise das funções e falhas funcionais</b> . . . . .	<b>25</b>
<b>4.2</b>	<b>Análise dos modos de falha e efeitos</b> . . . . .	<b>25</b>
<b>4.3</b>	<b>Seleção das ações de manutenção e Plano de manutenção</b> . . . . .	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DA MCC</b> . . . . .	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>Projeto em análise</b> . . . . .	<b>30</b>
<b>5.2</b>	<b>Escolha e Capacitação da Equipe</b> . . . . .	<b>32</b>
<b>5.3</b>	<b>Análise das Funções e Falhas Funcionais</b> . . . . .	<b>32</b>
<b>5.4</b>	<b>Análise dos modos de falhas, seus efeitos e elaboração do plano de manutenção</b> . . . . .	<b>33</b>

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .	36
6.1	Sugestões para trabalhos futuros . . . . .	36
	REFERÊNCIAS . . . . .	37

# 1 INTRODUÇÃO

O projeto Fórmula SAE Brasil trata-se da competição nacional promovida pela SAE Brasil (ramo brasileiro da SAE - *Society of Automotive Engineers*), que tem como objetivo contribuir para a formação de engenheiros, proporcionando aos estudantes de graduação a oportunidade de aplicarem os conhecimentos adquiridos em sala de aula em situações reais. Além disso, permite o desenvolvimento de competências exigidas no mercado de trabalho da engenharia, tais como a solução de problemas, colaboração em equipe e uma variedade de qualidades valorizadas no cenário profissional. A competição, fundada em 2004, está a caminho de sua 20ª edição, envolvendo mais de 1400 estudantes de engenharia de todo o Brasil (Fórmula SAE Brasil, 2024).

A equipe Fênix Racing de Fórmula SAE representa a Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Feis na categoria. Fundada em 2009, a equipe conta com uma média de 50 integrantes responsáveis pelo design e manufatura do protótipo, divididos em 8 áreas: Administrativo, Acionamentos, Aerodinâmica, Eletrônica, Estrutura, Motor, Suspensão, Direção e Transmissão.

Considerando o contexto de competição e alta performance ao qual a equipe Fênix Racing está inserida, todas as escolhas de projeto são feitas em busca dessa performance desejada. Com isso, a maioria dos sistemas do carro é enxuta, ou seja, apresentam designs esbeltos, com materiais leves e grandes alívios de massa, uma vez que a relação peso x potência deve ser a menor possível para melhorar um dos aspectos cruciais na busca de alto desempenho do veículo.

Devido a isso, o custo de construção do carro é alto, e o orçamento anual da equipe é limitado. Esse aspecto diminui a margem reservada para possíveis manutenções e reprojeto que venham a ser necessários ao longo do ano. Além disso, segundo as regras da Fórmula SAE, as equipes devem projetar e construir um novo carro a cada dois anos (FÓRMULA. . . , 2024). Isso faz com que seja necessária uma grande quantidade de horas de teste e para isso o veículo deve estar disponível a maior parte do tempo. Com isso, paradas para manutenção devem ser otimizadas para não afetarem a programação da equipe para o período de testes.

Pensando em atender às necessidades de disponibilidade e custo-benefício das manutenções, notou-se a necessidade de selecionar muito bem os tipos de manutenção, onde e quando elas devem ser feitas. O conceito de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) (SIQUEIRA, 2009) (SMITH; HINCHCLIFFE, 2003), também conhecido como

Reliability Centered Maintenance em inglês, é uma metodologia sistemática para a melhoria da manutenção que reconhece e aplica estrategicamente as atividades de manutenção mais eficazes para assegurar o funcionamento confiável dos ativos, enquanto se reduzem os custos e os riscos associados. Segundo John Moubray, um dos grandes contribuidores para a criação da metodologia, *"Não basta executar corretamente as ações de manutenção, é preciso executar somente as ações certas, e somente elas"*(Moubray, 2001).

## 2 OBJETIVO

O intuito desse trabalho é elaborar um plano de manutenção do sistema de transmissão de um veículo Fórmula SAE, aplicando a metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 MANUTENÇÃO

É fato que sistemas mecânicos apresentam deteriorações ao longo do tempo devido a uso e seu ciclo de vida, reduzindo seu desempenho, acarretando indisponibilidade e possíveis ocorrências de acidentes, isso faz com que uma política de manutenção bem aplicada seja essencial para mitigar esses problemas.

De acordo com a ABNT NBR 5462, manutenção é a "Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida."

#### 3.1.1 manutenção corretiva

A manutenção corretiva é a atuação para a correção de uma falha ou do desempenho abaixo do esperado. Com isso, tem-se dois cenários que levam a manutenção corretiva, o equipamento apresenta uma deficiência no seu desempenho evidenciados pelo acompanhamento das variáveis operacionais ou a ocorrência de falhas. Logo, a principal função da manutenção corretiva é a restaurar as condições de funcionamento do equipamento ou sistema.

Normalmente esse tipo de manutenção resulta em altos custos, uma vez que, a falha inesperada pode levar a consequências graves para o equipamento, e equipamentos adjacentes que apresentavam bom funcionamento. Além disso, essas falhas podem acarretar danos pessoais e ambientais.

#### 3.1.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é a atuação com o intuito de evitar a falha ou queda de desempenho em um equipamento ou sistema, seguindo um plano previamente estabelecido, baseado em intervalos de tempo.

Diferente da manutenção corretiva a manutenção preventiva busca evitar a ocorrência de falhas, ou seja, preveni-las. Como nem sempre os fabricantes fornecem os dados necessários para a adesão nos planos de manutenção preventiva, além das condições de operação e do ambiente apresentarem influências significativas na expectativa de degradação dos componentes, a definição do intervalo e substituição deve ser estipulada para cada equipamento ou em sistemas que operem em condições similares.

Embora a manutenção preventiva seja eficaz para evitar a falha, muitas vezes, principalmente no início da adoção dessa abordagem, leva à paradas desnecessárias, uma vez que o componente substituído ainda apresente boas condições, isso leva a custos desnecessários e diminuição do tempo disponível do sistema.

### **3.1.3 Manutenção Preditiva**

Manutenção preditiva é a atuação com base em modificação da condução ou desempenho, ao qual o acompanhamento obedece uma sistemática.

O objetivo dessa abordagem é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através do acompanhamento de diversos parâmetros, permitindo a operação ininterrupta do equipamento o maior tempo possível. Ou seja a manutenção preditiva dá prioridade a disponibilidade, visto que não promove intervenções nos equipamentos ou sistemas, uma vez que as verificações e medições são feitas com o sistema em funcionamento.

Para a adoção da manutenção preditiva são necessárias as seguintes condições:

- Deve ser possível a realização de algum tipo de monitoramento no equipamento ou sistema
- O equipamento ou sistema deve merecer esse tipo de ação em função dos custos envolvidos
- A falha deve ser derivada de causas que podem ser monitoradas e sua progressão acompanhada
- O monitoramento, análise e diagnóstico deve seguir um programa sistemático

A adoção dessa abordagem de manutenção apresenta redução nas falhas catastróficas e a ocorrência de falhas inesperadas, o que proporciona um aumento de segurança pessoal e de integridade do sistema, acarretando em uma maior disponibilidade do sistema.

### **3.1.4 Manutenção Detectiva**

A manutenção detectiva é atuação em busca de falhas ocultas ou não perceptíveis. Dessa forma, tarefas para verificar se um sistema de proteção ainda está funcionando. A identificação de falhas ocultas é importante para garantir a confiabilidade do sistema.

## 3.2 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

A MCC pode ser definida como uma metodologia que reúne várias técnicas de engenharia que busca proporcionar que as funções especificadas de um equipamento permanecerá sendo realizada. Em razão da metodologia ter abordagens racionais e sistêmicas, a MCC é vista como uma das melhores abordagens para problemas de manutenção. Ela permite que se alcance altos níveis das atividades de manutenção, uma vez que, aumenta a disponibilidade dos equipamentos e reduz custos associados a reparos, substituições, acidentes e paradas indesejadas do sistema aplicado. Para que isso aconteça é necessário a implementação de um plano de manutenção composto por tarefas preventivas, preditivas e corretivas, que são aplicadas conforme a necessidade de cada componente, sendo ajustado periodicamente otimizando a segurança e confiabilidade do sistema. (Fogliato; Ribeiro, 2009)

Conforme Siqueira (2003) a aplicação da MCC possibilita a conquista de ganhos como:

- Diminuição de custos de manutenção voltados para manutenções indevidas ou ineficientes e aumento da vida útil;
- Redução das paradas não programadas e otimização da disponibilidade;
- Maior conhecimento da sobre o sistemas e seus equipamentos;
- Atuar de acordo com o tipo, efeito, causa e consequência da falha, com ações efetivas.

### 3.2.1 Questões da MCC e passos de implementação

Para (MOUBRAY, 2001) a MCC resulta em sete perguntas sobre cada item sob análise, apresentado a seguir:

1. Quais são as funções e padrões de desempenho de um equipamento no seu contexto presente de operação?
2. De que forma ele falha em cumprir suas funções?
3. O que acontece quando ocorre cada falha?
4. De que forma cada falha importa?
5. O que pode ser feito para predizer ou prevenir cada falha?
6. O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada?

Para se implementar a Metodologia MCC é necessário seguir algumas etapas, nesse trabalho optou-se por seguir a metodologia sugerida por Moubray (2000), descritas a seguir:

1. Escolha e capacitação da equipe;
2. Identificação das Funções do Sistema;
3. Análise dos Modos de Falha e Efeitos;
4. Seleção das Funções Significantes;
5. Seleção das Atividades Aplicáveis;
6. Avaliação da Efetividade das Atividades;
7. Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
8. Definição da Periodicidade das Atividades.

### **3.3 ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA - FMEA**

Para (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009), a MCC se interessa na identificação dos modos de falha, ou seja, a forma que os equipamentos podem falhar em cumprir suas funções. Os modos de falha caracterizam-se como eventos, que indicam a falha em cumprir funções especificadas para um componente. Dado que a manutenção preventiva não concentra-se nos modos de falha, mas sim em suas causas, um dos principais pontos da MCC é a identificação das causas de cada uma das falhas funcionais, identificando seus efeitos e evidenciando as consequências que ocorrem quando há a falha. Para satisfazer as premissas da MCC de identificação, consequências e tarefas que evitem a ocorrência da falha, neste trabalho será utilizada a Análise de modos e efeitos de falha (FMEA). A FMEA analisa os modos de falha de um componente, seus efeitos e as causas, oferecendo uma consideração do risco da falha, possibilitando que sejam concentrados esforços nos componentes que possuem maior risco de falha.

De acordo com (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009), a FMEA tem o intuito de:

1. Identificar e analisar as falhas em potenciais;
2. Apontar ações que podem mitigar, ou conter a ocorrência dessas falhas;
3. Documentar a análise, elaborando um referencial teórico que ajude em futuras revisões e desenvolvimento do projeto.

### 3.3.1 Instrumentalização e elementos da FMEA

O estudo deve ter início com a listagem de características que o sistema deve cumprir. Quanto melhor for a definição das funções desejadas, mais fácil será identificar possíveis modos de falha e as possíveis medidas corretivas.

([PALADY, 1997](#)) identifica os seguintes elementos usualmente aparecem em uma FMEA.

1. Cabeçalho: Neste cabeçalho devem estar claras as informações para identificar sobre qual componente ou sistema se trata a FMEA, quais as pessoas envolvidas, data de início e última modificação;
2. Funções: O que o componente ou sistema deve fazer para satisfazer os parâmetros para o qual foi projetado;
3. Modos de falha: Essa análise deve indicar os modos de falhas em potencial. O potencial de falha é definido como a maneira que um componente pode falhar em atingir os parâmetros requeridos;
4. Efeitos: Neste item é descrito quais as consequências dos modos de falha e quais são os eventos observados que são característicos da ocorrência dessa falha;
5. Severidade: Corresponde a gravidade do efeito do modo de falha, citado anteriormente;
6. Causas: Para cada modo de falha deve-se listar quais as causas que poderiam resultar no modo de falha. A causa potencial pode ser vista como uma falta de performance do sistema, cuja a consequência de o modo de falha;
7. Ocorrência: Qual a possibilidade que um causa do modo de falha venha a ocorrer;
8. Formas de controle: Quais os controles estão planejados ou sendo executados para garantir que todos os modos de falha sejam identificados e eliminados;
9. Detecção: Refere-se a avaliação dos controles atuais em identificar modos de falha ou causas antes que o componente passe para uma operação;
10. Ações recomendadas: Constituem o principal resultado do FMEA, uma vez que, são ações que representam o que será corrigido e melhorado no sistema;
11. Situação das recomendações: São a avaliação dos custos de implementação e benefícios de confiabilidade previstos pelas ações recomendadas.

Neste trabalho será utilizado somente a avaliação de RPN (Risk Priority Number) no processo decisório. ela assegura que análise adequada de recusos e esforços, logo a equipe deve concentrar esforços em modos de falha com RPNs mais elevados.

O calculo do risco leva em consideração ocorrência, detecção e severidade. Como apresentado na Equação 1:

$$RPN = SOD \quad (1)$$

É evidente que o risco aumenta conforme os índices atribuídos para severidade, ocorrência ou detecção aumentam. Com todos esses elementos foi construído o modelo de FMEA para este trabalho presente na Tabela 3.1

**Figura 3.1 – Modelo de FMEA**

FMEA:											Data:			
Sistema:											Resp.			
Subsistema:														
Código #	Função #	Função Primária e Secundária	Falha #	Falha Funcional	Modo de Falha #	Modo de Falha	Causa #	Causa da Falha	Efeito da Falha	S	O	D	NPR	Ações recomendadas

Fonte: Próprio Autor

## **4 IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UM SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE UM VEÍCULO FÓRMULA SAE**

Como indicado anteriormente, a MCC tem como objetivos:

- Preservar a função do sistema;
- Identificar os modos de falha que impedem que o sistema realize sua função;
- Priorizar as necessidades da função;
- Selecionar quais são as ações de manutenção aplicáveis e efetivas;
- Definir a periodicidade ideal das ações de manutenção.

Logo, a MCC busca em grau de sistema, definir as funções, falhas funcionais, modos de falha, causa e efeito e quais as ações de manutenção buscando o aumento da preservação das funções do sistema.

### **4.1 ANÁLISE DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS**

Nesse momento são analisadas as funções e as falhas funcionais do sistema ou componente sob implementação da MCC, é definido também o padrão de desempenho desejado para o sistema.

Função pode ser definida como qualquer atividade executada pelo sistema ou componente, do ponto de vista operacional, podendo ser elas funções principais, ou secundárias e devem ser descritas de forma clara, contendo um verbo para descrever a ação. As funções principais correspondem aos motivos pelo qual o componente existe. Já as secundárias, não são tão óbvias, mas tem papel importante para aumentar o valor agregado do item, ou qualidade.

Falha funcional pode ser definida como a incapacidade de um componente em realizar sua função em um padrão de desempenho definido.

### **4.2 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS**

Nesse momento será utilizado o FMEA para identificar as funções e modos de falhas do sistema em avaliação, bem como os efeitos danosos acarretados por elas e a

severidade do efeito. Para a elaborar a FMEA, é necessário descrever os modos de falha e os efeitos de falha de cada conjunto. Nas colunas "S", "O" e "D" conforme a Tabela 3.1, deve-se definir pontuações para cada efeito dos modos de falha seguindo o proposto pelas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3. Na Coluna "RPN" será calculado o risco utilizando a Equação 1, esse valor será utilizado para definir starts de ações de correção do sistema.

Tabela 4.1 – Escala de Ocorrência

<b>Nível</b>	<b>Ocorrência</b>
6	Frequente (Esperada ocorrer frequentemente, continuamente.)
5	Provável (Ocorrerá várias vezes, com frequência)
4	Ocasional (Possível ocorrer ocasionalmente)
3	Remota (Esperada ocorrer algumas vezes)
2	Improvável (Possível de ocorrer, mas improvável)
1	Inacreditável (Inesperada ocorrer, praticamente não ocorrerá)

Fonte: Próprio Autor

Tabela 4.2 – Escala de Detecção

<b>Nível</b>	<b>Detectibilidade</b>
1	Fácil (Falha detectável pela operação)
2	Razoável (Falha detectável por inspeção operacional)
3	Difícil (Falha detectável por ensaio funcional)
4	Muito Difícil (Falha detectável apenas por desligamento)
5	Impossível (Falha totalmente Oculta)

Fonte: Próprio Autor

Tabela 4.3 – Escala de Severidade

<b>Nível</b>	<b>Severidade</b>
5	Catastrófico (Ambiental=Grande, Pessoal=Mortal, Econômico=Total)
4	Crítico (Ambiental=Significante, Pessoal=Grave, Econômico=Parcial)
3	Marginal (Ambiental=Leve, Pessoal=Leve, Econômico=Leve)
2	Mínimo (Ambiental=Aceitável, Pessoal=Insignificante, Econômico=Aceitável)
1	Insignificante (Ambiental=Inexistente, Pessoal=Inexistente, Econômico=Inexistente)

Fonte: Próprio Autor

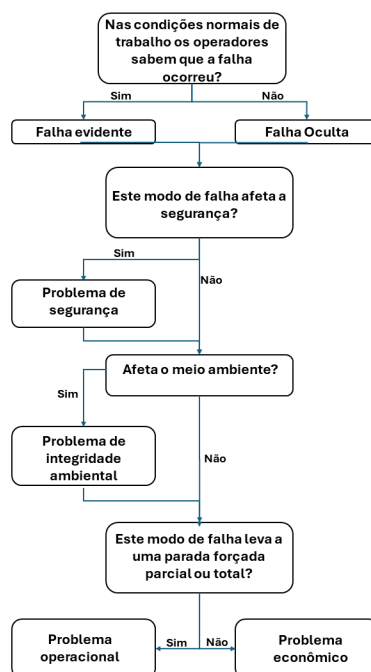
### 4.3 SELEÇÃO DAS AÇÕES DE MANUTENÇÃO E PLANO DE MANUTENÇÃO

Nesse momento são identificadas as ações de manutenção para um modo de falha e segue um processo estruturado, levando em conta a efetividade e adequação de cada tarefa. A estruturação MCC busca maximizar os resultados econômicos e operacionais, submetido às condições de segurança e para isso são utilizadas a Árvore Lógica de Decisão e o Diagrama de Decisão para Seleção de ações de manutenção.

A Árvore Lógica de Decisão categoriza o modos de falha da seguinte forma, como visto na Figura 4.1:

1. associado a segurança;
2. associado ao meio ambiente;
3. associado a problema operacional;
4. associado a problemas econômicos.

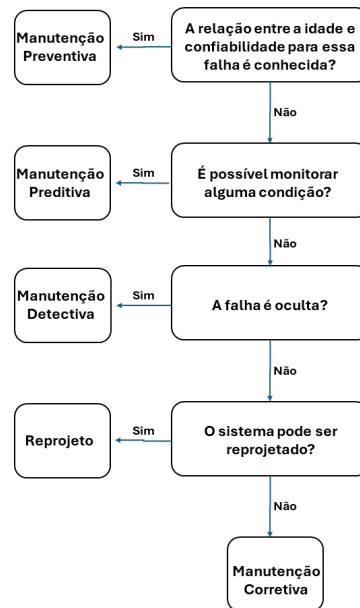
Figura 4.1 – Árvore Lógica de Decisão



Público

O Diagrama de Decisão para Seleção de Ações de Manutenção apresentado na Figura 4.2, é usado para determinar ações de manutenção aplicáveis e efetivas. Com o auxílio do diagrama é possível determinar o tipo de manutenção para cada efeito de falha determinado no FMEA.

Figura 4.2 – Diagrama de Decisão para Seleção de Ações de Manutenção



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif

O plano de manutenção é peça primordial para o sistema de gestão de manutenção, uma vez que, especifica cada ação de manutenção indicada para cada equipamento e modo de falha, detalhando a frequência de execução especificada na MCC (SIQUEIRA, 2009). E deve conter:

1. Como a falha pode ser evitada;
2. Tipo de manutenção deve ser adotada;
3. Descrição das tarefas de manutenção;
4. Frequência para cada plano,

Após a elaboração do plano de manutenção, afim de garantir a eficácia da execução das ações de manutenção, é necessário que haja um padrão de desenvolvimento dele. Neste plano (Tabela 4.4) todas as etapas a serem executadas devem estar descritas detalhadamente, garantindo que o responsável pela execução as façam com êxito.

**Tabela 4.4 – Diagrama de Decisão para Seleção de Ações de Manutenção**

FMEA:												Data:								
Sistema:												Resp.								
Subsistema:																				
Código #	Função #	Função Primária e Secundária	Falha #	Falha Funcional	Modo de Falha #	Modo de Falha	Causa #	Causa da Falha	Efeito da Falha	S	O	D	NPR	Ações recomendadas	Resp.	Prazo	Ações tomadas	Novo S	Novo O	Novo D

Fonte: Próprio autor

## 5 IMPLEMENTAÇÃO DA MCC

### 5.1 PROJETO EM ANÁLISE

Equipe Fênix Racing de Fórmula SAE representa a Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Feis na categoria. Fundada em 2009, a equipe conta com uma média de 50 integrantes responsáveis pelo design e manufatura do protótipo, divididos em 8 áreas: Administrativo, Acionamentos, Aerodinâmica, Eletrônica, Estrutura, Motor, Suspensão, Direção e Transmissão.

A equipe participa da competição da categoria Fórmula Student, que existe em todo o mundo. A categoria Fórmula SAE Brasil foi fundada em 2004 e reúne aproximadamente 50 equipes de todo o país. O veículo FXX foi construído em 2022 para a participação da competição nacional da categoria, considerando o contexto de competição e alta performance, todas as escolhas de projeto são feitas em busca dessa performance desejada. Com isso, a maioria dos sistemas do carro é enxuto, ou seja, apresentam designs esbeltos, com materiais leves e grandes alívios de massa, e grande complexidade de sensores e controles para melhorar o desempenho do veículo.

**Figura 5.1 – Veículo FXX**



Fonte: Próprio autor

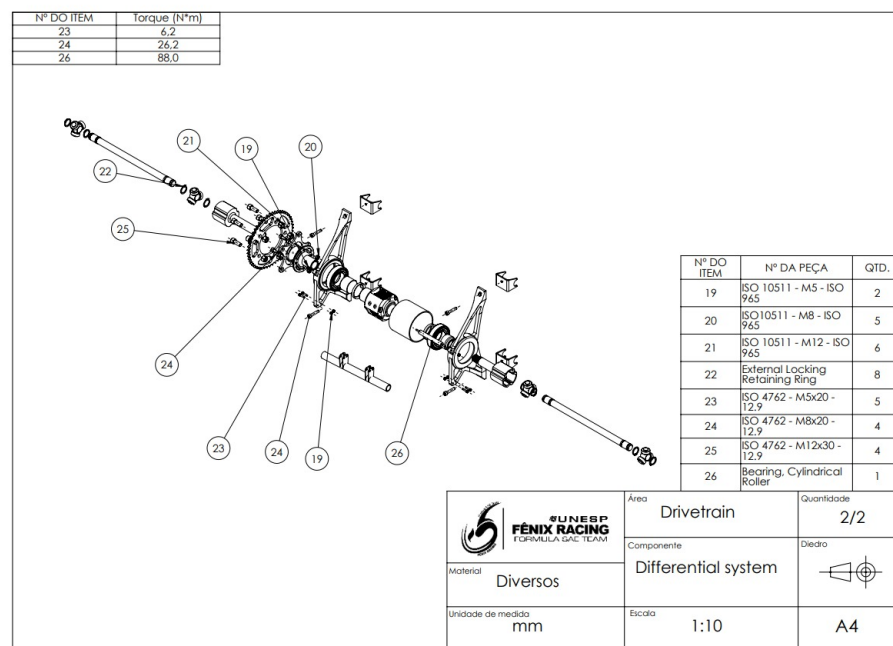
Devido as escolhas de projeto e complexidade do sistema o custo para a construção do veículo é elevado, como apresentado na Tabela 5.1. Para esse trabalho foi feita a aplicação da MCC apenas no sistema de transmissão (Figura 5.2, uma vez que, o sistema de transmissão representa 15,9% do valor total gasto com a construção do veículo e é diretamente ligado a disponibilidade do veículo.

Tabela 5.1 – Custos totais

Área	Valor Total
Acionamentos	R\$ 6.107,86
Aerodinâmica	R\$ 8.779,12
Eletrônica	R\$ 6.366,13
Estrutura	R\$ 16.681,11
Motor	R\$ 6.776,60
Suspensão e Direção	R\$ 29.235,28
Transmissão	R\$ 13.971,00
	R\$ 87.917,10

Fonte: Próprio autor

Figura 5.2 – Transmissão do veículo



Fonte: Próprio autor

## 5.2 ESCOLHA E CAPACITAÇÃO DA EQUIPE

Para a realização da implementação da MCC, optou-se pela participação de todas as pessoas responsáveis pelo projeto, construção e manutenção do sistema de transmissão, visando ter no grupo o maior conhecimento possível do sistema.

A fim de nivelar o conhecimento sobre a MCC, pontos básicos de confiabilidade e métodos de manutenção, realizou-se o treinamento em MCC, que foi realizado em três reuniões com duração de uma hora e trinta minutos abordando cada um dos temas e uma reunião para simular a implementação da MCC em um sistema mais simples. Para possibilitar a participação de todos os integrantes optou-se pela realização de forma remota síncrona, para permitir que eventuais dúvidas e discussões sobre o entendimento dos temas abordados fossem o mais robusto possível e as gravações das reuniões servissem como material de apoio durante o processo de implementação.

Após o período de treinamento, iniciou-se as etapas de implementação da MCC, para isso, foram feitas reuniões semanais de duração de uma hora e trinta minutos para o acompanhamento dos resultados e apresentação das evoluções e dificuldades encontradas. Para essa etapa também optou-se por reuniões remotas síncronas.

## 5.3 ANÁLISE DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS

As funções e falhas funcionais dos componentes foram avaliadas com base nas ocorrências relatadas em um banco de informações de falhas construído pelos ex-membros e membros atuais ao longo dos anos. Constatou-se 16 funções primárias, a partir delas foram avaliadas as falhas funcionais de cada uma das funções, apresentada na Tabela 5.2. Essas informações serviram para a construção da FMEA e identificar quais as tarefas de manutenção recomendadas para o sistema de transmissão.

**Tabela 5.2 – Funções e Falhas Funcionais**

Sistema: Sistema de transmissão do veículo			Área: Trem de potência		Data: 16/04/2024		Elaborado por: Matheus Pereira Barbosa	
Cód.	Conjunto	Componente	Função	Falha funcional				
1	Diferencial	Diferencial	Girar a junta homocinética com velocidades diferentes	Não girar a junta homocinética com velocidades diferentes				
2	vedação do diferencial	Case	Não permitir o vazamento de lubrificante	Permitir vazamento de lubrificante				
3	vedação do diferencial	O-ring	Não permitir o vazamento de lubrificante	Permitir vazamento de lubrificante				
4	suporte do diferencial	Mancais	Fixar o diferencial no chassi	não fixar o diferencial no chassi				
5	suporte do diferencial	Rolamentos	Permitir a rotação do diferencial	Não permitir a rotação do diferencial				
6	suporte do diferencial	Tensionadores	Garantir o tensionamento da corrente	Corrente sem tensão				
7	suporte do diferencial	Jacking Point	Permitir a elevação do veículo	não permitir a elevação do veículo				
8	homocinética	Tulipa	Transmitir a rotação do diferencial para as rodas	Não transmitir a rotação do diferencial para as rodas				
9	homocinética	Trizeta	Transmitir a rotação do eixo para as rodas	Não transmitir a rotação do eixo para as rodas				
10	homocinética	Eixos	Conectar a tulipa com as rodas	Não conectar a tulipa as rodas				
11	ligação Diferencia-coroa	Conexão da coroa	Conectar a flange e a coroa	Não conectar a flange a a coroa				
12	ligação Diferencia-coroa	Flange	Transmitir o movimento do diferencial para os eixos	Não transmitir o movimento do diferencial para os eixos				
13	Relação final	Coroa	Reduzir rotação do sistema	Não reduzir rotação do sistema				
14	Relação final	Pinhão	Transmitir a rotação do motor para a corrente	Não transmitir a rotação do motor para a corrente				
15	Relação final	Corrente	Transmitir a rotação do pinhão para a coroa	Não transmitir a rotação do pinhão para a coroa				
16	proteção da corrente	Capa da corrente	Barrar o arremesso da corrente para fora do sistema	Deixar que a corrente seja arremessada para fora do sistema				

Fonte: Próprio autor

## 5.4 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS, SEUS EFEITOS E ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO

Nesse período foi realizada a análise da FMEA, com a utilização da Tabela ?? para realizar a análise dos modos de falha e efeitos de falha do sistema de transmissão para a implementação da metodologia. Para isso foram utilizados os passos descritos na seção 3.3.1.

A Tabela 5.3 mostra para cada componente sua função, falha funcional, modo de falha, causas potencial para cada modo de falha, o efeito potencial da falha, a severidade desses efeitos, a ocorrência e detecção. Em seguida, a planilha traz os controles atuais para prevenir detectar ou prevenir a causa e seus modos de falha e por fim, seu RPN. Seguindo o intuito de fazer somente as ações necessárias de manutenção, selecionados os maiores RPNs evidenciados pelas causas potenciais de falha listadas a seguir:

Tulipa com RPN de 48: A tulipa é um dos componentes em que parte da fabricação é realizada pela equipe, com isso o custo unitário composto por material, usinagem e tratamento térmico é de R\$455,00. A falha nesse componente apresenta apresenta risco crítico devido ao custo de fabricação e tempo de indisponibilidade que a falta da tulipa provoca, uma vez que, ela causa a parada do sistema e não há peças de reposição no estoque da equipe. O tempo estimado para a manutenção corretiva é de aproximadamente 14 dias, para a realização do processo de usinagem que por ser terceirizado onera o tempo de manutenção.

Eixo com RPN de 48: Os eixos são componentes expostos do sistema de transmissão, uma vez que ele recebe todo o esforço vindo do diferencial e do cubo de roda, logo, problemas no sistema de suspensão e freios podem afetar a integridade desse componente e sua falha causa a parada do sistema. O tempo médio para a manutenção dos eixos é de aproximadamente uma hora uma vez que é necessário desmontar todo o sistema de transmissão para realizar sua substituição, o que coloca em risco para outros componentes que não apresentam sinais de falha e tem custo unitário de R\$440,00 divididos em compra do material, usinagem e tratamento térmico.

Identificados os modos de falha mais influentes, foi iniciada a realização das tarefas de melhoria para cada modo de falha. A equipe da MCC foi responsável por elaborar um plano de manutenção que aborde as ações requeridas com uma frequência estabelecida para diminuir o RPN dos componentes.

Tabela 5.3 – FMEA do sistema de Transmissão

FMEA:		Veículo FXX										Data: 10/05/2024							
Sistema:		Transmissão										Resp. Matheus Pereira Barbosa							
Código #	Função #	Função Primária e Secundária	Modo de Falha #	Modo de Falha	Causa #	Causa da Falha	Efeito da Falha	S	O	D	Controles atuais	RPN	Ações recomendadas	Resp.	Prazo	Ações tomadas	Novo S	Novo O	Novo D
1		Girar a junta homocinética com velocidades diferentes		Não girar a junta homocinética com velocidades		Deformação das engrenagens internas	Parada do sistema	5	1	3	Não há plano de preventiva	15							
2		Não permitir o vazamento de lubrificante		Permitir vazamento de lubrificante		Defeito de fabricação	Desgaste do sistema	2	2	1	Não há plano de preventiva	4							
3		Não permitir o vazamento de lubrificante		Permitir vazamento de lubrificante		Ressecamento	Desgaste do sistema	2	2	1	Não há plano de preventiva	4							
4		Fixar o diferencial no chassi		não fixar o diferencial no chassi		Esforço acima do projetado	Parada do sistema	4	1	2	Não há plano de preventiva	8							
5		Permitir a rotação do diferencial		Não permitir a rotação do diferencial		Vida útil	Parada do sistema	3	4	2	Não há plano de preventiva	24							
6		Garantir o tensionamento da corrente		Corrente sem tensão		Esforço acima do projetado	Parada do sistema	3	2	1	Não há plano de preventiva	6							
7		Permitir a elevação do veículo		não permitir a elevação do veículo		Fadiga	Dificuldade de manutenção	2	2	1	Não há plano de preventiva	4							
8		Transmitir a rotação do diferencial para as rodas		Não transmitir a rotação do diferencial para as rodas		Falha no tratamento térmico	Parada do sistema	4	4	3	Não há plano de preventiva	48							
9		Transmitir a rotação do eixo para as rodas		Não transmitir a rotação do eixo para as rodas		Defeito de fabricação	Parada do sistema	4	2	3	Não há plano de preventiva	24							
10		Conectar a tulipa com as rodas		Não conectar a tulipa as rodas		Falha no tratamento térmico	Parada do sistema	4	4	3	Não há plano de preventiva	48							
11		Conectar a flange e a coroa		Não conectar a flange a a coroa		Quebra	Parada do sistema	4	2	3	Não há plano de preventiva	24							
12		Transmitir o movimento do diferencial para os eixos		Não transmitir o movimento do diferencial para os eixos		Desalinhamento da corrente	Parada do sistema	4	2	3	Não há plano de preventiva	24							
13		Reduzir rotação do sistema		Não reduzir rotação do sistema		Falha no tratamento térmico	Parada do sistema	4	3	2	Não há plano de preventiva	24							
14		Transmitir a rotação do motor para a corrente		Não transmitir a rotação do motor para a corrente		Desgaste dos dentes da engrenagem	Parada do sistema	4	3	2	Não há plano de preventiva	24							
15		Transmitir a rotação do pinhão para a coroa		Não transmitir a rotação do pinhão para a coroa		Desgaste dos dentes da engrenagem	Parada do sistema	4	2	3	Não há plano de preventiva	24							
16		Barrar o arremesso da corrente para fora do sistema		Deixar que a corrente seja arremessada para fora do sistema		Montagem inadequada	Risco a integridade	5	1	5	Não há plano de preventiva	25							

Fonte: Próprio autor

Para a elaboração do Plano de manutenção, foram realizadas reuniões suportadas pela análise da FMEA, para que os integrantes da equipe de implementação da MCC trouxeram sugestões de como reduzir ou eliminar os modos de falhas com maiores RPNs. Essas propostas de ações foram transformadas em plano de manutenção, apresentada na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Planilha FMEA com Plano de manutenção proposto

FMEA:		Veículo FXX										Data: 10/05/2024							
Sistema:		Transmissão										Resp. Matheus Pereira Barbosa							
Código #	Função #	Função Primária e Secundária	Modo de Falha #	Modo de Falha	Causa #	Causa da Falha	Efeito da Falha	S	O	D	Controles atuais	RPN	Ações recomendadas	Resp.	Prazo	Ações tomadas	Novo S	Novo O	Novo D
1		Girar a junta homocinética com velocidades diferentes		Não girar a junta homocinética com velocidades		Deformação das engrenagens internas	Parada do sistema	5	1	3	Não há plano de preventiva	15							
2		Não permitir o vazamento de lubrificante		Permitir vazamento de lubrificante		Defeito de fabricação	Desgaste do sistema	2	2	1	Não há plano de preventiva	4							
3		Não permitir o vazamento de lubrificante		Permitir vazamento de lubrificante		Ressecamento	Desgaste do sistema	2	2	1	Não há plano de preventiva	4							
4		Fixar o diferencial no chassi		não fixar o diferencial no chassi		Esforço acima do projetado	Parada do sistema	4	1	2	Não há plano de preventiva	8							
5		Permitir a rotação do diferencial		Não permitir a rotação do diferencial		Vida útil	Parada do sistema	3	4	2	Não há plano de preventiva	24							
6		Garantir o tensionamento da corrente		Corrente sem tensão		Esforço acima do projetado	Parada do sistema	3	2	1	Não há plano de preventiva	6							
7		Permitir a elevação do veículo		não permitir a elevação do veículo		Fadiga	Dificuldade de manutenção	2	2	1	Não há plano de preventiva	4							
8		Transmitir a rotação do diferencial para as rodas		Não transmitir a rotação do diferencial para as rodas		Falha no tratamento térmico	Parada do sistema	4	4	3	Não há plano de preventiva	48	Manutenção preventiva verificar lubrificação e avaliar desgaste a cada 36h de funcionamento e construção de banco de dados de falha do componente						
9		Transmitir a rotação do eixo para as rodas		Não transmitir a rotação do eixo para as rodas		Defeito de fabricação	Parada do sistema	4	2	3	Não há plano de preventiva	24							
10		Conectar a tulipa com as rodas		Não conectar a tulipa as rodas		Falha no tratamento térmico	Parada do sistema	4	4	3	Não há plano de preventiva	48	Manutenção preventiva verificar lubrificação e avaliar desgaste a cada 36h de funcionamento e construção de banco de dados de falha do componente						
11		Conectar a flange e a coroa		Não conectar a flange a a coroa		Quebra	Parada do sistema	4	2	3	Não há plano de preventiva	24							
12		Transmitir o movimento do diferencial para os eixos		Não transmitir o movimento do diferencial para os eixos		Desalinamento da corrente	Parada do sistema	4	2	3	Não há plano de preventiva	24							
13		Reduzir rotação do sistema		Não reduzir rotação do sistema		Falha no tratamento térmico	Parada do sistema	4	3	2	Não há plano de preventiva	24							
14		Transmitir a rotação do motor para a corrente		Não transmitir a rotação do motor para a corrente		Desgaste dos dentes da engrenagem	Parada do sistema	4	3	2	Não há plano de preventiva	24							
15		Transmitir a rotação do pinhão para a coroa		Não transmitir a rotação do pinhão para a coroa		Desgaste dos dentes da engrenagem	Parada do sistema	4	2	3	Não há plano de preventiva	24							
16		Barrar o arremesso da corrente para fora do sistema		Deixar que a corrente seja arremessada para fora do sistema		Montagem inadequada	Risco a integridade	5	1	5	Não há plano de preventiva	25							

Fonte: Próprio autor

Para seleção das ações de manutenção para cada modo de falhas, os integrantes da equipe revisitaram o levantamento de histórico de falha, manuais de componentes e projetos de cada componentes.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) no sistema de transmissão do veículo Fórmula SAE pela equipe Fênix Racing trouxe resultados significativos em termos de aumento da disponibilidade do veículo e aprimoramento dos métodos de manutenção. Através da análise crítica das funções e falhas dos componentes e da aplicação estruturada das atividades de manutenção, foi possível desenvolver um plano de manutenção robusto e detalhado, garantindo a eficácia e a confiabilidade do sistema.

Os desafios enfrentados, como a necessidade de alinhar o conhecimento da equipe e a falta de um histórico de falhas detalhado, foram superados com capacitação adequada e reuniões frequentes. A análise de modos de falha e efeitos (FMEA) permitiu identificar as falhas mais críticas e desenvolver estratégias para mitigá-las, assegurando que o sistema de transmissão pudesse operar conforme projetado.

Conclui-se que os objetivos do trabalho foram plenamente alcançados, demonstrando a importância e a eficácia da metodologia MCC na manutenção de sistemas complexos como o de um veículo de alta performance. Recomenda-se que estudos futuros considerem a expansão da aplicação da MCC para outros sistemas do veículo e incluam técnicas adicionais de detecção de falhas, como o Método da Causa Raiz, além de manter um histórico detalhado de falhas para permitir atualizações contínuas dos planos de manutenção.

### 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se que estudos futuros incluam o levantamento de histórico de falhas detalhado para permitir a atualização dos planos de manutenção, a aplicação da MCC para todo o veículo, a elaboração de planos de manutenção para todos os modos de falha descritos na FMEA e não apenas para os componentes com maior RPN. Além disso, recomenda-se destacar os modos de falha que apresentarem riscos à segurança; portanto, todos os modos de falha com severidade 4 ou 5 devem ser mitigados, independentemente do RPN, o uso de outras técnicas de detecção de falhas, como o Método da Causa Raiz, também é de interesse para aplicação.

## REFERÊNCIAS

- FOGLIATO, F.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2009.
- FÓRMULA SAE Brasil. 2024. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/formula-sae-brasil/>. Acesso em: 03 fevereiro 2024.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção-função estratégica**. [S.l.]: Qualitymark Editora Ltda, 2009.
- MOUBRAY, J. **RCM–Gateway to world class maintenance**. [S.l.]: Industrial Press Inc., 2001.
- PALADY, P. **Uma visão geral do FMEA Palady P. FMEA Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: Instituto IMAM, 1997. 3–20 p.
- SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada em confiabilidade: manual de implantação**. Rio de Janeiro: QualityMark, 2009.
- SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. **Reliability-centered maintenance**. [S.l.]: Elsevier, 2003.