

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
VINÍCIUS MEDEIROS ALVES

PROJETO MECÂNICO PARA REESTRUTURAÇÃO DO ROBÔ SMALL SIZE

São Bernardo do Campo - SP

2018

VINÍCIUS MEDEIROS ALVES

PROJETO MECÂNICO PARA REESTRUTURAÇÃO DO ROBÔ SMALL SIZE

Relatório Final de Iniciação Científica
apresentado ao Centro Universitário FEI,
como parte dos requisitos do Programa
PBIC-FEI. Orientado pelo Prof. Dr.
Flavio Tonidandel.

São Bernardo do Campo - SP

2018

RESUMO

Os robôs *Small Size* têm limitações de dimensões e disputam uma partida de futebol altamente dinâmica e de forma autônoma. Os robôs possuem dispositivos mecânicos capazes de realizar chutes diretos para o gol ou até mesmo por cima do adversário para driblá-lo. Atualmente a equipe RoboFEI possui em seus robôs vários sistemas mecânicos implementados, mas devido ao grande tempo de existência do projeto atual, a eficiência do robô está prejudicada. O objetivo é projetar uma nova estrutura mecânica que possibilite a fácil manutenção do robô, para isso será aplicado uma metodologia chamada de manutenção centrada em confiabilidade (MCC), os resultados da implementação desta metodologia apontaram as causas das falhas mais graves e os pontos cruciais que prejudicam o desempenho do robô. Diante desta análise, foi possível realizar um reprojeto mecânico com o intuito de evitar as causas destas falhas. Foi obtido assim um robô modular, de fácil montagem e desmontagem, mantendo cada sistema mecânico independente entre si, a fim de assegurar a função requerida de cada mecanismo e de aumentar, portanto, a confiabilidade dos robôs.

Palavras Chaves: Robôs. Futebol de Robôs. Small Size. Manutenção. MCC.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Robô Small Size: modelo em software e robô real da equipe RoboFEI.....	9
Figura 2 - Vista explodida da atual roda.....	12
Figura 3 - Vista superior do posicionamento das rodas.....	13
Figura 4 - Sistema de chute direcional.	14
Figura 5 - Sistema <i>Chip Kick</i> e seu funcionamento.	15
Figura 6 - Sistema de amortecimento e domínio de bola.	16
Figura 7 - Mancal de fixação da equipe TIGER Mannheim.	16
Figura 8 - Estrutura Mecânica: (1) Mecanismo de chute direto; (2) Rodas omnidirecionais; (3) Mecanismo de chute aéreo; (4) Sistema de drible.	17
Figura 9 - (a) Sistema de chute direcional com mecanismo Roda de Genebra; (b) Roller auto centralizador.	18
Figura 10 - Tipos de Manutenção.....	19
Figura 11 - Interligação entre causa, modo de falhas e efeitos.....	22
Figura 12 - Etapas de implementação da MCC.....	23
Figura 13 - Gráfico de Áreas de Prioridades do FMEA.....	26
Figura 14 - Diagrama de Decisão.....	27
Figura 15 – Hierarquização dos sistemas do Robô.....	31
Figura 16 - Gráfico de Áreas de Prioridade.....	35
Figura 17 - Valores do RPN do sistema de chute direto.	36
Figura 18 - Diagrama de Decisão do RoboFEI.	37
Figura 19 – Conjunto do mancal atual.....	39
Figura 20 – Tentativa de alteração do suporte.....	40
Figura 21 - Segunda tentativa de alteração no suporte.....	41
Figura 22 – Geometria final do suporte do encoder destacado.	42
Figura 23 - Vista explodida do novo conjunto do mancal.....	42
Figura 24 – Conector na placa do motor a esquerda e fios soldados direto na placa do motor a esquerda.....	43
Figura 25 – Remoção do conjunto roda pelas laterais.....	44
Figura 26 - Elásticos atuais para o retorno do êmbolo	45
Figura 27 - Sistema de chute desmontado para retirar o elástico	46

Figura 28 - <i>Design Accelerator</i> gerador de componentes de molas de compressão.....	47
Figura 29 – Cálculo do dimensionamento da mola de compressão	47
Figura 30 - Dimensões da mola de compressão	48
Figura 31 – Chute direcionável implementado do robô	49
Figura 32 – Desmontagem do sistema de chute	49
Figura 33 - Êmbolo em formato de flat	50
Figura 34 - Espaço disponível para eletrônica.....	52
Figura 35 – Fixação baterias e capacitores.....	53
Figura 36 - Montagem do protótipo.	53
Figura 37 - Novo projeto desmontado.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações Mecânicas.	11
Tabela 2 - Função e falhas funcionais do sistema de chute direto.	32
Tabela 3 - Efeitos e modos de falhas do sistema de chute direto.	33
Tabela 4 - Controle, Severidade, Ocorrência, Detecção, RPN e Ações Recomendadas do sistema de chute direto.	34
Tabela 5 - Comparação Chip Kick	51
Tabela 6 - Comparação de tempos de montagem e desmontagem.....	54

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	8
1.1	OBJETIVO	9
1.2	JUSTIFICATIVA	9
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	ATUAL ROBÔ SMALL SIZE	11
2.1.1	Sistema de Locomoção	12
2.1.2	Sistemas de Chute	13
2.1.3	Sistema de Domínio de Bola	15
2.2	OUTRAS EQUIPES	16
2.3	MANUTENÇÃO	18
2.4	MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	19
2.4.1	Funções e Padrão de Desempenho	20
2.4.2	Modos de Falhas	21
2.4.3	Metodologia de aplicação da MCC	22
2.4.4	FMEA - Análise Dos Modos De Falhas e Efeitos	23
<i>2.4.4.1</i>	<i>Construindo o FMEA</i>	24
<i>2.4.4.2</i>	<i>Interpretando o FMEA</i>	25
2.4.5	Diagrama de Decisão	27
3.	METODOLOGIA	28
4.	IMPLEMENTAÇÃO DA MCC NO ROBÔ SMALL SIZE	30
5.	REALIZAÇÃO DO NOVO PROJETO	39
5.1	ALTERAÇÕES NO SISTEMA DE LOCOMOÇÃO	39
5.2	ALTERAÇÕES NOS SISTEMAS DE CHUTES	45
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
7.	CONCLUSÕES	55

REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A – HIERARQUIZAÇÃO COMPLETA DE TODOS OS SISTEMAS DO ROBOFEI.....	59
APÊNDICE B – GRÁFICO DE ÁREAS DE PRIORIDADE DE TODOS OS SISTEMAS DO ROBOFEI.	60
APÊNDICE C – PLANILHA FMEA	62
APÊNDICE D – DESENHOS TÉCNICOS.....	64

1. INTRODUÇÃO

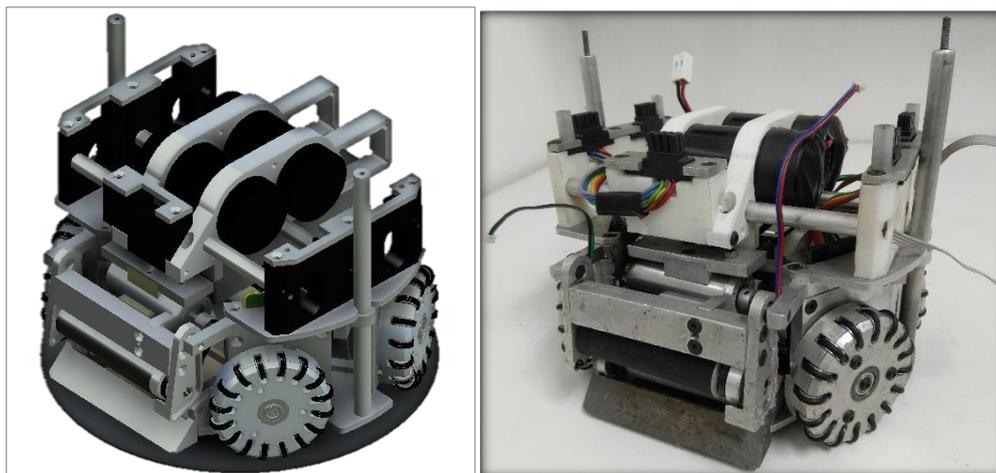
O projeto RoboFEI foi criado em 2003 com intuito de instigar os alunos de graduação e pós-graduação do Centro Universitário FEI a desenvolverem pesquisas e aplicarem novas tecnologias no campo da robótica, participando da RoboCup (THE ROBOCUP FEDERATION, 2017), uma competição internacional com um objetivo desafiador a longo prazo: fazer com que robôs autônomos vençam uma partida de futebol contra os campeões da Copa do Mundo de 2050, segundo as regras da FIFA (FÉDÉRETION INTERNATIONALE DE FOOTBALL ASSOCIATION, 2017). Para alcançar tal objetivo a organização divide a competição em categorias para potencializar o crescimento da robótica.

A categoria *Small Size League* (SSL) tem como propósito desenvolver o uso da inteligência artificial, através da cooperação entre robôs e controles inteligentes em um ambiente altamente dinâmico. Os robôs devem atuar de forma autônoma, sem intervenção humana e ainda são limitados em uma altura até 150 milímetros e devem caber dentro de uma circunferência de 180 milímetros de diâmetro.

Grande parte das equipes internacionais possuem os mesmos mecanismos nos robôs, são eles: um sistema de locomoção omnidirecional que permite o robô se locomover em qualquer direção, sem que ele esteja virado para aquela direção (RYLL et al., 2015); um sistema de domínio da bola que possibilita receber passes e também se locomover com a posse da bola (YOSHIMOTO et al., 2017); dois mecanismos de chute, um rasteiro que é denominado de *Direct Kick* e outro de chute aéreo chamado de *Chip Kick* utilizado para driblar os adversários que impedem um chute direto (ZHAO et al., 2014).

O desafio mecânico está em desenvolver os mecanismos e implementá-los em uma geometria limitada pelas regras da competição. Manter as funcionalidades e confiabilidade do robô ao longo do tempo é outro desafio a ser superado. O robô da equipe da RoboFEI pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Robô Small Size: modelo em software e robô real da equipe RoboFEI.



Fonte: Autor

1.1 OBJETIVO

O objetivo consiste em projetar um robô que possa ser montado e desmontado com mais facilidade para diminuir o tempo necessário nos processos de manutenção, isso será alcançado por meio de uma metodologia chamada de manutenção centrada em confiabilidade (MCC). Além disso, o objetivo é também obter uma estrutura mecânica que otimize o espaço interno disponível.

1.2 JUSTIFICATIVA

Após a última competição realizada em julho de 2017 pela RoboCup na cidade de Nagoya, no Japão, a equipe realizou um estudo de análise de causas e foi observado que demanda-se muito tempo de manutenção entre o intervalo dos jogos, devido aos intensos impactos sofridos pelos robôs durante a partida. Pode-se concluir que as peças não estão dimensionadas conforme os estresses sofridos, e que o projeto atual não teve a intenção de evitar as falhas funcionais e facilitar as manutenções.

A eficiência do robô está comprometida, com base nos resultados de competições e experiências no laboratório, pode-se afirmar que a estrutura mecânica está no fim da sua vida útil. A necessidade de manutenções corretivas é demasiadamente grande, prejudicando a equipe obter resultados melhores.

A equipe possui atualmente 8 robôs produzidos em 2012 e que desde então não houve um controle de manutenção adequado. A competição está evoluindo para uma partida onde serão 11 robôs contra 11 a partir de 2018, logo a equipe RoboFEI precisa além de manter os robôs atuais, construir novos robôs e que possam substituir os atuais futuramente, tendo assim um time completo de 11 robôs novos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentado primeiramente o robô atual da equipe com os sistemas que o compõem, em seguida como referência alguns robôs de outras equipes internacionais.

Em sequência será apresentado a revisão dos conceitos de manutenção; a apresentação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) bem como seus benefícios e metodologia; será revisado também as ferramentas que auxiliam a implementação deste método como o FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) e o Diagrama de Decisão.

2.1 ATUAL ROBÔ SMALL SIZE

Como já mencionado, os robôs são limitados em uma altura até 150 milímetros e devem caber dentro de uma circunferência de 180 milímetros de diâmetro. Possuem sistema de locomoção, mecanismos de chute, e de domínio de bola.

A seguir a Tabela 1 com as especificações gerais do robô que está apresentada no TDP (Team Description Paper) do ano de 2015, artigo no qual qualifica a equipe para a participação na RoboCup anualmente.

Tabela 1 - Especificações Mecânicas.

Height	148 <i>mm</i>
Weight	2,6 <i>kg</i>
Percentage of ball coverage	15%
Main Material	6000 series Aluminium Alloy
Roller bar material	Polyurethane (PU): Hardness of 20, 25 and 30 Shore A
Driving motor	Maxon EC-flat 45 50W
Gear ratio	3:1
Dribbler device motor	Maxon EC-Max 22 25W
Solenoid Plunger material	SAE1020 steel
Solenoid coil	AWG21 wire

Fonte: RODRIGUES JR. Fernando. et al. 2015.

2.1.1 Sistema de Locomoção

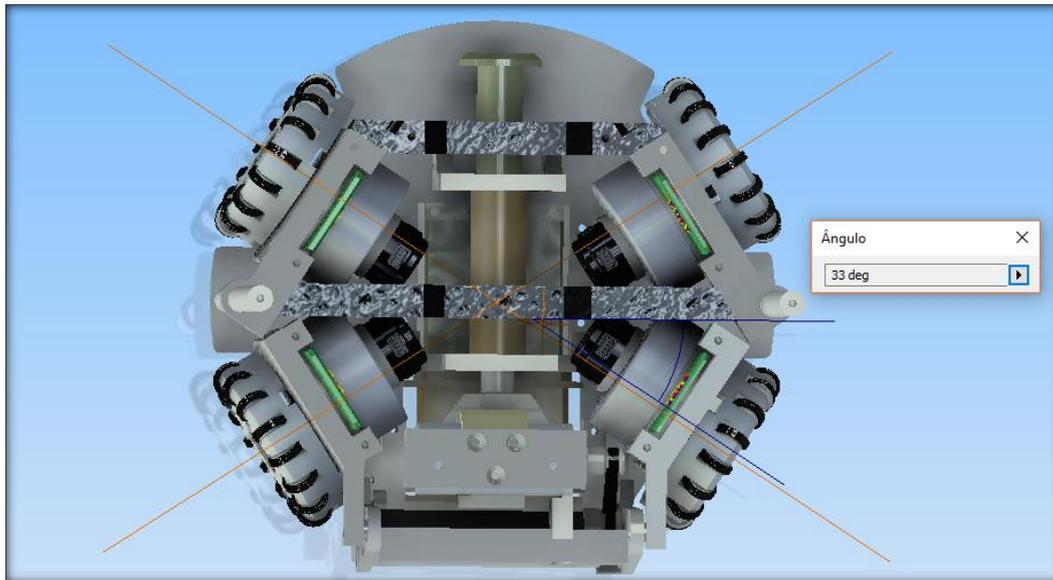
O sistema de locomoção mais eficaz em robôs autônomos atualmente é o sistema omnidirecional. Segundo Brian, Matt, et al. (2001) a locomoção omnidirecional é a capacidade de se mover em qualquer direção enquanto virado para qualquer orientação. Isso só é possível devido pequenas rodas serem fixadas perpendicularmente ao plano da roda principal. Essas rodadas menores são emborrachadas por anéis de vedação, denominados de *o'rings*, de acordo com a Figura 2. A posição das rodas é de 33° graus em relação ao eixo longitudinal do robô, como pode ser visto na Figura 3. E a relação de transmissão é dada por um engrenamento interno em uma redução de 3:1, a engrenagem motora é acionada por um motor do modelo *Maxon EC-45 flat* de 50 W.

Figura 2 - Vista explodida da atual roda.



Fonte: GURZONI JR, Ângelo J. et al. 2010.

Figura 3 - Vista superior do posicionamento das rodas.



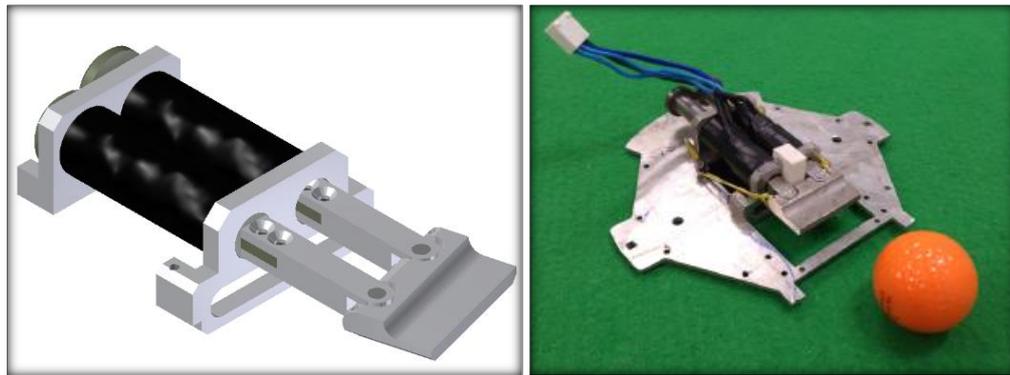
Fonte: Autor.

2.1.2 Sistemas de Chute

O mecanismo de chute rasteiro denominado *Direct Kick*, é formado por um solenoide, “[...] uma bobina helicoidal formada por espiras circulares muito próximas” (HALLYDAY, 2012, p. 231). Quando percorrida por uma corrente elétrica, gera um campo magnético que atrai um êmbolo de material ferrimagnético. Por sua vez, o êmbolo é rosqueado em uma chuteira, que transfere a energia cinética do movimento do êmbolo para a bola através da chuteira. O retorno deste embolo a posição inicial é por meio de elásticos.

Recentemente a equipe projetou um novo sistema de chute, denominado de Chute Direcionável. Consiste em dois solenoides em paralelo interligados por uma única chuteira, fixada nos êmbolos de cada solenoide. Quando os solenoides são acionados em tempos diferentes é possível formar um ângulo na chuteira, quando impacta na bola faz com que esta saia em uma trajetória retilínea, formando até 15° em relação a direção perpendicular da frente do robô. Como pode ser observado na Figura 4. Este mecanismo foi resultado da Iniciação Científica PBIC031/16 do aluno Caio Braga.

Figura 4 - Sistema de chute direcional.

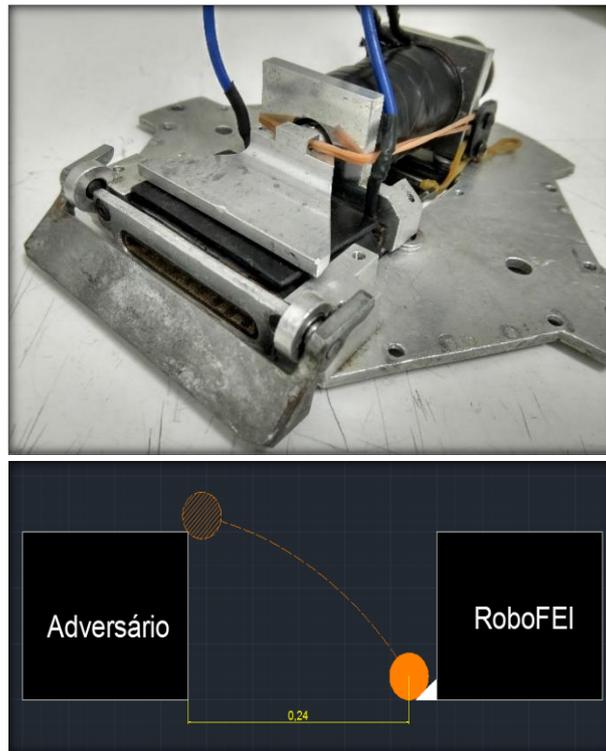


Fonte: BRAGA, Caio, 2017.

Outro mecanismo de chute é o *Chip Kick*, que também é um solenoide, porém em formato de *flat*, o princípio é o mesmo do *Direct Kick*, porém ao invés do êmbolo transferir a energia para uma chuteira, o êmbolo colide com uma espécie de alavanca que transfere a força linear em um lançamento balístico, definido por Halliday e Resnick (2012) como o movimento de uma partícula em um plano vertical com velocidade inicial \vec{v}_0 e com uma aceleração constante, igual à aceleração de queda livre \vec{g} , dirigida para baixo. Este mecanismo é utilizado para driblar os adversários que impedem um chute direto como pode ser visualizado na Figura 5, a partir de uma distância superior a 0,24 metros entre robô da equipe RoboFEI e o adversário é possível encobri-lo lançando a bola em um movimento balístico.

A função do *Chip Kick* passou a ser mais exigida com a mudança das regras em 2015, onde o campo aumentou suas dimensões de 6050 mm \times 4050 mm para 9000 mm \times 6000 mm. Com isso, o sistema *Chip Kick* passou a ser um recurso para as jogadas ofensivas, possibilitando uma gama de estratégias de passe.

Figura 5 - Sistema *Chip Kick* e seu funcionamento.

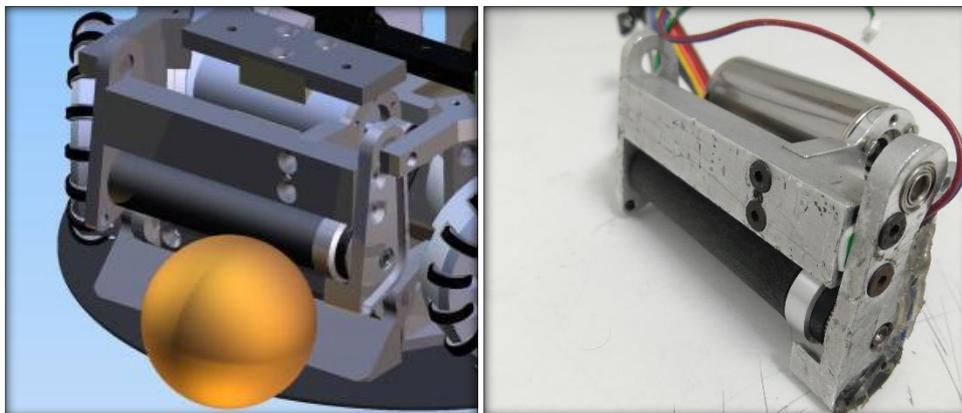


Fonte: Autor.

2.1.3 Sistema de Domínio de Bola

Para se ter o controle da bola e garantir que o robô a possua no momento do chute é necessário um sistema no qual é denominado sistema de *Roller*, como observa-se na Figura 6, onde um cilindro feito de Poliuretano (PU) de dureza de 30 Shore A, alimentado por um motor *Maxon EC22* de 25W, transmite uma rotação para bola para que ela gire no sentido contrário e permaneça em contato com o robô. Outra questão importante é o amortecimento desse sistema, uma vez que quando a bola entra em contato com o robô ela está em alta velocidade e colide com o roller, essa energia cinética tem que ser dissipada para que a bola possa permanecer em domínio do robô.

Figura 6 - Sistema de amortecimento e domínio de bola.

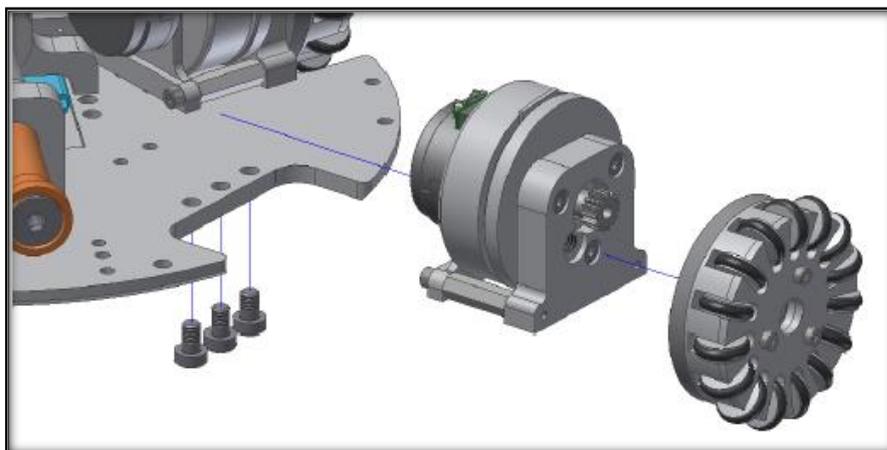


Fonte: Autor.

2.2 OUTRAS EQUIPES

Como referência para esta pesquisa é importante analisar como estes sistemas são implementados em outros robôs de equipes que se destacam na RoboCup. Um dos desafios é fazer com que o robô possa ser desmontado facilmente durante a competição facilitando as manutenções. Uma das alternativas encontradas pela equipe TIGERS Mannheim (DUALE HOCHSCHULE BADEN-WÜRTTEMBERG, 2017), foi parafusar o mancal dos motores apenas na chapa inferior, para facilitar a remoção dos motores, como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Mancal de fixação da equipe TIGER Mannheim.



Fonte: RYLL, Andre. et al. 2015.

Uma estrutura muito compacta é a da equipe chinesa bicampeã (2013, 2014) da RoboCup, ZJUNlict (Zhejiang University, 2017) que possui um excelente sistema de chute. Onde se pode observar na Figura 8, que todos sistemas mecânicos se resumem em metade do volume disponível do robô, tendo uma grande parte para a implementação de uma eletrônica mais robusta.

Figura 8 - Estrutura Mecânica: (1) Mecanismo de chute direto; (2) Rodas omnidirecionais; (3) Mecanismo de chute aéreo; (4) Sistema de drible.

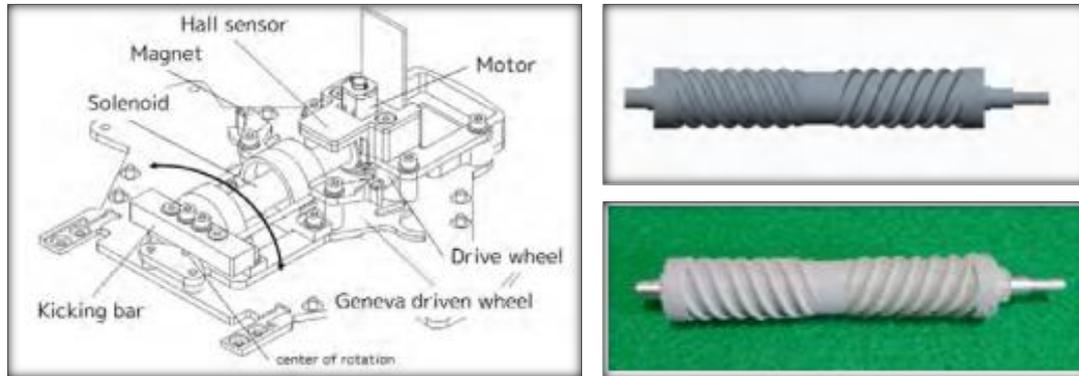


Fonte: ZHAO, Yue. et al, 2014.

Já a equipe OP-AmP (ASAGAMI WORKS, 2017) do Japão apresenta uma mecânica inovadora com um sistema de chute direcionável aplicando o conceito de Roda de Genebra. Segundo Norton (2010) a Roda de Genebra é um mecanismo de movimento intermitente que utiliza uma manivela de entrada e uma roda movida com três ou mais fendas equidistantes. A manivela, que normalmente é um motor de velocidade constante, possui um pino que entra numa das fendas radiais resultando em sequência de movimentos e tempos de espera.

Esta equipe apresenta também um *roller* auto centralizador através de uma rosca no cilindro do *roller* que faz a bola permanecer sempre ao centro como mostra a Figura 9.

Figura 9 - (a) Sistema de chute direcional com mecanismo Roda de Genebra; (b) Roller auto centralizador.



Fonte: YOSHIMOTO, Takamichi. et al. 2017.

2.3 MANUTENÇÃO

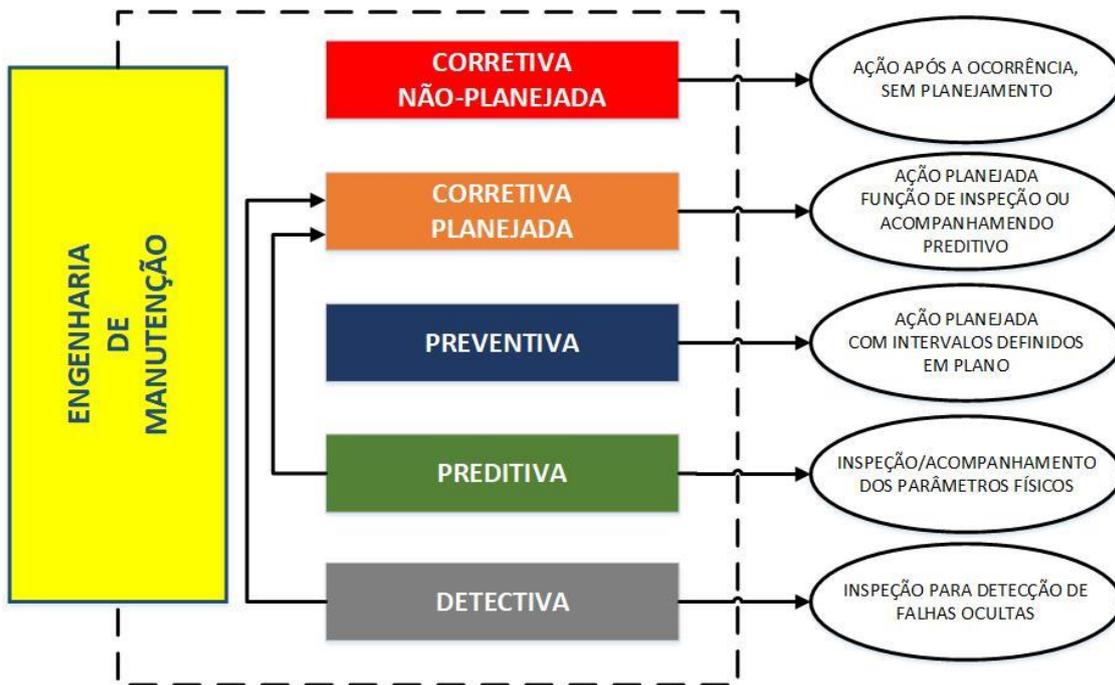
Como parte da revisão bibliográfica, é importante saber que para aplicar a metodologia proposta é necessário compreender o que é manutenção e qual o seu propósito, assim como os tipos de manutenção existente.

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT na norma NBR 5462, a definição de manutenção é dada como “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”.

Kardec e Nascif (2009) afirmam que a manutenção atualmente tem um conceito mais moderno que é garantir a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos. Na norma NBR 5462, confiabilidade é definida como: “capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”.

A forma com que é feita a intervenção nos equipamentos e sistemas caracteriza os vários tipos de manutenção existentes, eles podem ser resumidos na Figura 10 apresentada por Kardec e Nascif (2009).

Figura 10 - Tipos de Manutenção



Fonte: Kardec e Nascif, 2009, p.38.

Como pode se observar na Figura 10 existe basicamente três tipos de manutenção dentro da engenharia de manutenção: corretiva não planejada, que é uma tarefa necessária após o surgimento de uma falha para corrigi-la; a manutenção preventiva que é uma inspeção regular para evitar que aconteça alguma falha; a corretiva planejada que engloba as manutenções preditiva e detectiva, ambas utilizam de métodos de inspeção para detectar as falhas antes que elas ocorram. Segundo Kardec e Nascif (2009) a manutenção detectiva para encontrar falhas ocultas é uma das vertentes da manutenção centrada em confiabilidade.

2.4 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

É necessário desenvolver um novo projeto mecânico, para isso a metodologia empregada será baseada na manutenção centrada em confiabilidade (MCC), aplicando-a como justificativa de modificação de projeto, pode-se reestruturar o robô atual e obter uma nova versão modular e de fácil manutenção. Para isso nos capítulos seguintes de revisão bibliográfica serão apresentados os conceitos que envolvem esta metodologia.

Souza (2004) comenta que a manutenção centrada em confiabilidade teve suas origens durante os anos 50, como resultado de estudos desenvolvidos pela a indústria da aviação civil americana. Entretanto foi na década de 60 que os conceitos foram desenvolvidos como resposta ao novo cenário que surgia, ou seja, um crescente aumento dos custos de manutenção e a baixa confiabilidade da tradicional manutenção preventiva baseada no tempo.

Moubray (2000) define a manutenção centrada em confiabilidade (MCC) ou *Reliability-centered Maintenance* (RCM) como um processo usado para determinar o que deve ser feito para garantir que qualquer ativo físico continue a fazer o que seus usuários querem que ele faça no seu atual contexto operacional.

Como principais resultados esperados com a implementação da MCC, Moubray (2000) cita a maior segurança e integridade ambiental; maior disponibilidade e confiabilidade de fábrica; qualidade do produto melhorada; eficiência maior na manutenção (custo-eficaz); vida útil mais longa para ativos caros; maior motivação da equipe de trabalho; uma base de dados de manutenção e uma estrutura integradora.

É importante a definição dos conceitos uma vez que as tomadas de decisões neste projeto são baseadas conforme a classificação das funções, padrão de desempenho, modos de falhas, efeitos das falhas e suas consequências.

2.4.1 Funções e Padrão de Desempenho

A função requerida é definida por Fogliatto e Ribeiro (2009) como qualquer propósito pretendido para um processo ou produto, é basicamente aquilo que o usuário quer que o item físico faça, deve consistir de um verbo e um objeto junto com o padrão de desempenho desejado.

Moubray (2000) classifica ainda as funções em primárias e secundárias. As funções primárias estão associadas principalmente à razão pela qual o ativo foi adquirido, os itens físicos são geralmente adquiridos para uma, possivelmente duas e não mais do que três funções primárias. Muitos ativos realizam uma ou mais funções além das primárias são as funções secundárias que são geralmente menos importantes que as funções primárias.

A definição de padrão de desempenho e capacidade inicial é dada da seguinte maneira:

As leis da física nos mostram que qualquer sistema organizado exposto ao mundo real se deteriorará. [...]. Se a deterioração é inevitável, deve ser levada em consideração. Significa que quando qualquer ativo é posto a trabalhar, deve ser capaz de produzir *mais* do que o padrão mínimo de desempenho desejado pelo usuário. O que o ativo é capaz de produzir é conhecido como *capabilidade inicial* (ou confiabilidade inerente). (MOUBRAY, 2000. p.23)

Ou seja, o desempenho desejado é o que o usuário quer que o ativo faça e a capacidade inicial é o que ele pode fazer. Moubray (2000) afirma ainda que a manutenção não pode elevar a capacidade inicial de um ativo, mas deve assegurar o desempenho mínimo das funções primárias.

Souza (2004), concluí ainda que a MCC aceita a parada para a manutenção corretiva, uma ação não planejada após a falha, a fim de preservar o funcionamento do sistema, para isso é necessário compreender os modos de falhas.

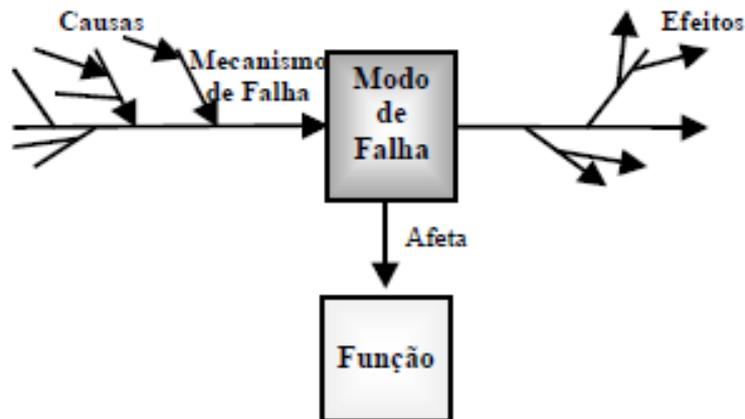
2.4.2 Modos de Falhas

Kardec e Nascif (2009) definem a falha como a cessação da função de um item. Moubray (2000) por sua vez define a falha funcional como a incapacidade de qualquer ativo de cumprir uma função para um padrão de desempenho que é aceitável pelo usuário, o autor ressalta ainda que é preciso distinguir uma falha funcional (um estado) de um modo de falha (um evento).

Para Moubray (2000) o modo de falha é qualquer evento que causa uma falha funcional, está associado as prováveis causas de cada falha funcional. Fogliatto (2009) destaca ainda que o modo de falha deve constar de um substantivo e um verbo cuidadosamente definidos, pois a identificação dos modos de falha é um dos passos mais importante para assegurar a qualidade.

Além de identificar as causas das falhas, é importante reconhecer seus efeitos explicitando o que acontece quando cada falha ocorre, define-se assim, os efeitos da falha, Fogliatto e Ribeiro (2009). Deve-se ainda ficar claro de que forma cada falha interessa, ou seja, as consequências das falhas. A interligação entre função, modo de falha, causa e efeitos pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 - Interligação entre causa, modo de falhas e efeitos



Fonte: Fogliatto, 2009.

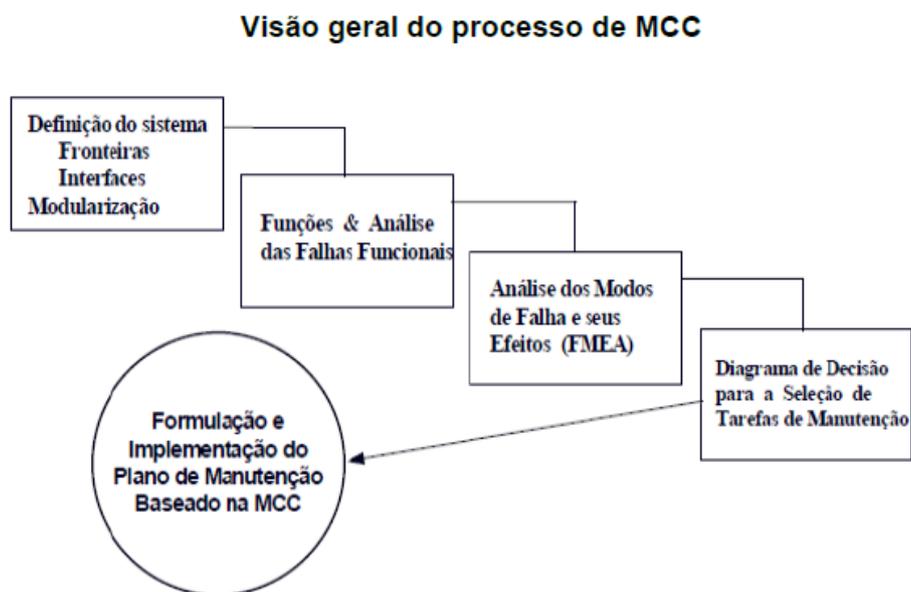
2.4.3 Metodologia de aplicação da MCC

Para que se aplique corretamente esta metodologia no projeto do robô é preciso entender que há etapas a serem cumpridas e questões a serem respondidas, de acordo com Moubrey (2000), para atingir seus objetivos a MCC deve responder a sete questões básicas:

1. Quais as funções do ativo e os padrões de desempenho associados?
2. Como ele pode falhar ao realizar essas funções?
3. O que pode causar a falha funcional?
4. O que acontece quando uma falha ocorre?
5. Quais podem ser as consequências quando da ocorrência da falha?
6. O que pode ser feito para detectar e prevenir a ocorrência da falha?
7. O que deverá ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada?

Para obter a respostas destes questionamentos a MCC trabalha em uma sequência estruturada de etapas, onde cada uma dessas etapas utiliza ferramentas de análise de sistemas. Fleming, Silva e França. (1999) resumem essas etapas na Figura 12 a seguir.

Figura 12 - Etapas de implementação da MCC.



Fonte: Fleming, Silva e França (1999).

A primeira etapa se diz a respeito da hierarquização do sistema a ser analisado, ou seja, a identificação do sistema, subsistema, conjunto, componente e peça. Seixas (2010). O segundo passo é a determinação das funções e análises de falhas funcionais.

Segundo Moubray (2000) na etapa de análise de modos de falha são identificadas e documentadas todas as funções e seus modos de falha, assim como os efeitos adversos produzidos por elas, o autor recomenda a utilização da ferramenta FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). A etapa de diagrama de decisão integra todos os processos de decisão em uma estratégia única. O autor reforça que o diagrama para a seleção de tarefas é utilizado para especificar as tarefas de manutenções aplicáveis e efetivas. Essas duas metodologias serão mais aprofundadas a seguir.

2.4.4 FMEA - Análise Dos Modos De Falhas e Efeitos

Uma das metodologias que ajudam na implementação da MCC e responde às perguntas de 1 a 5 apresentadas anteriormente é o FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). Segundo Palady (1997), o FMEA é uma ferramenta para prognóstico de problemas com uma abordagem eficiente para coordenação e atualização de novos avanços, incorporação de revisões e também é o diário do projeto.

Para atingir os objetivos é necessário aplicar alguns conceitos fundamentais e respeitar algumas regras. De acordo com Palady (1997) as regras básicas do FMEA são:

- 1) Não considerar todos os modos de falhas concebíveis.
- 2) Redigir o modo de falha como a expressão negativa da função.
- 3) Selecionar uma abordagem para classificar os modos ou causa de falha.
- 4) Desenvolver independentemente cada coluna do FMEA.

A planilha do FMEA é basicamente a mesma variando algumas colunas de acordo com certos autores. O que todas as bibliografias frisam é que antes de iniciar a planilha devem ser bem definidas: a equipe de trabalho constituída por aqueles que de fato entendem do ativo, os documentos de suporte e o diagrama de bloco dos sistemas.

Como a utilização desta ferramenta é muito recomendada quando se trata de MCC é importante saber como são os passos de construção desta planilha, e também como interpretar os dados obtidos nela. Com isso em mente, será apresentado na sequencia como construir os itens de um FMEA e como interpretá-los.

2.4.4.1 Construindo o FMEA

O primeiro item é o **cabeçalho** para Fogliatto e Ribeiro (2009) o cabeçalho em geral, contém o número da FMEA, a identificação do item, o modelo ao qual ele corresponde, o departamento responsável pelo estudo, os dados do coordenador do estudo, os dados dos participantes e a data do documento.

A primeira coluna é a **função**. Palady (1997) resume esta coluna como o que o projeto, processo ou serviço deve fazer para satisfazer o cliente. O autor aponta alguns problemas normalmente encontrados no preenchimento desta coluna como: (I) não identificação de todas as funções; (II) descrição não concisa da função; (III) descrição não exata; (IV) a descrição não usa linguagem direta.

A segunda coluna é os **modos potenciais de falhas**, para Fogliatto e Ribeiro (2009) é construída com base na experiência da equipe, usualmente fruto da interação entre os participantes, conduzida em um ambiente de *brainstorming*, Palady (1997) alerta para não incluir todos os modos de falhas concebíveis, pois pode congestionar essa coluna, a equipe deve exercitar o bom senso e a praticidade.

A coluna seguinte é qual o impacto cada modo de falha no cliente, ou seja, os **efeitos**. Para Palady (1997) nesta coluna é fundamental a simplicidade e descrição

sucinta. Em casos de dificuldade o autor recomenda como já dito anteriormente utilizar o modo de falha como negação da função, assim os efeitos ficam mais evidentes.

A **severidade** é a próxima coluna. Neste item é feita uma avaliação quantitativa da severidade do efeito listado na coluna anterior, a escala varia entre 1 e 10 onde o valor é máximo é considerado crítico e o mínimo é que o cliente não possa perceber o efeito, segundo os autores Fogliatto e Ribeiro (2009).

As **causas** são as razões que possibilitam a ocorrência da falha, segundo Palady (1997) nem todas as causas contribuem igualmente para um modo de falha potencial. Em seguida a coluna de **ocorrência** é qual a chance dessa causa estar acontecendo, também é medida em uma escala de 1 a 10.

Nesta próxima coluna são listadas as atividades de validação, verificação ou prevenção que estão planejadas, ou seja, são as **formas de controle** daquele modo de falha. Fogliatto e Ribeiro (2009). E a coluna seguinte é a **detecção**, na qual é definida como qual a chance de detectar o modo de falha antes de os produtos serem entregues aos clientes Palady (1997). O grau de detecção varia de 1 a 10 onde o máximo valor é para detecção quase impossível, e o mínimo para alta probabilidade de detecção.

Com todas as colunas de obtenção de dados explicadas, agora é preciso interpretar tudo que foi preenchido, para isso há mais algumas colunas que irão nortear as ações subsequentes.

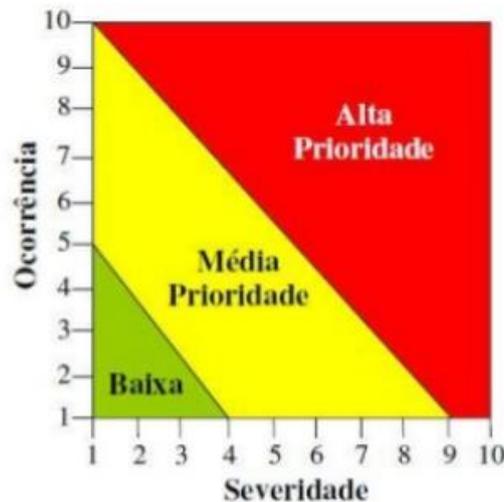
2.4.4.2 Interpretando o FMEA

Uma outra coluna do FMEA é o **Número de Priorização de Risco (RPN)** ou somente Risco (R) é calculado para priorizar as ações de correção e melhoria de projeto. A fórmula é a multiplicação dos três itens quantitativos: severidade, detecção e ocorrência. Fogliatto e Ribeiro (2009). Os autores alertam ainda que o valor do risco não segue um comportamento linear. O valor máximo é 1000, porém o valor intermediário não é 500, visto que se os três fatores correspondente a uma situação de severidade = 5, ocorrência = 5 e detecção = 5, logo o NPR será 125. Para o autor valores de NPR superiores a 100 já é uma situação justificável para ações de correção de projeto.

Já para Palady (1997) há uma abordagem mais proativa em relação ao NPR ao invés de simplesmente avaliar qual modo de falha possui o maior valor. É importante

analisar a ocorrência e a severidade, e para isso o autor sugere uma abordagem gráfica de áreas de interpretação. Como pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 - Gráfico de Áreas de Prioridades do FMEA.



Fonte: Palady, 1997.

Uma última coluna do FMEA são as **ações recomendadas**. Palady (1997) recomenda que o NPR não deve ser a única estratégia para decidir as ações recomendadas. E para isso o autor sugere algumas perguntas que devem ser respondidas pela equipe nesta coluna, são elas:

1. Prevenir o modo de falha?
2. Reduzir severidade?
3. Melhorar a detecção interna?
4. Melhorar a detecção pelo cliente?

Definir e selecionar a melhor ação recomendada, capaz de prevenir os problemas potenciais de forma eficaz em termos de custos e minimizar as consequências dos problemas, depende de como a equipe lê e interpreta o FMEA concluído.

Como parte da metodologia da MCC é necessário traçar o caminho a seguir após a interpretação dos resultados do FMEA. Para isso outra ferramenta inclusa dentro da metodologia proposta deste projeto é utilizar o diagrama de decisão, que será definido a seguir.

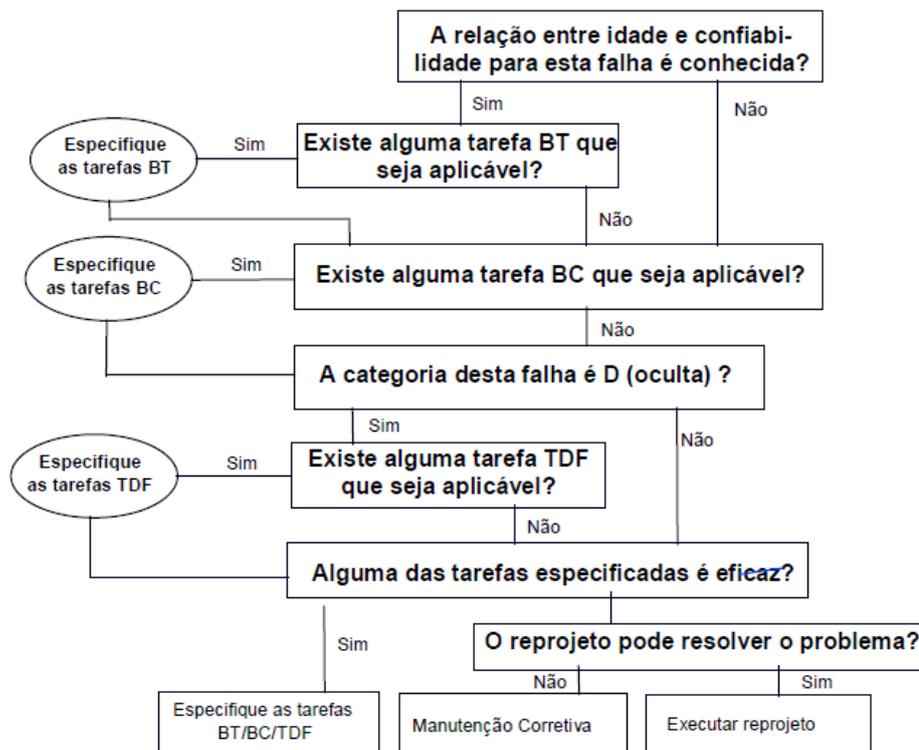
2.4.5 Diagrama de Decisão

Para Seixas (2010) o Diagrama de Decisão (DD) auxilia nas respostas dos questionamentos 6 e 7 apresentados pela MCC. É um fluxograma que utiliza um conjunto de perguntas do tipo "sim ou não" para classificar as consequências dos modos de falha, buscando tarefas de manutenção que sejam aplicáveis e eficazes na prevenção ou mitigação destas falhas de acordo com Fleming, Silva e França. (1999).

Souza (2004) concluí ainda que o DD leva a uma mudança de cultura da tradicional manutenção preventiva nas empresas, essa mudança segundo o autor é fundamental para otimizar os recursos da manutenção através da política de manter as funções e não mais o item físico.

Fleming, Silva e França (1999) explicam o diagrama que mostra qual tarefas de manutenção dos tipos: BT (baseadas no tempo), BC (baseadas na condição/preditivas), TDF (testes para descobrir falhas ocultas) e corretiva são avaliadas levando em conta as características de confiabilidade dos modos de falha, como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Diagrama de Decisão.



Fonte: Fleming, Silva e França, 1999.

3. METODOLOGIA

Após a revisão dos conceitos dentro da revisão bibliográfica será apresentado neste capítulo quais as etapas deste projeto e como serão os procedimentos para alcançar um projeto novo de robô.

Primeiramente foi estudado a metodologia de manutenção apresentada anteriormente, com o intuito de entender como é o seu desenvolvimento para que possa ser aplicada no projeto. A implementação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade (MCC) é aplicada a muitos processos de produção industrial, será importante a pesquisa para poder adaptar uma metodologia de produção para um produto único como o robô.

Em seguida foi feito o estudo do ativo que se tem em mãos, no caso o robô *Small Size*, esta etapa consistiu no levantamento de dados de histórico de manutenção do robô. Por ser um ativo único e exclusivo não há referências de como é o comportamento da vida da maioria dos componentes, prejudicando assim sua confiabilidade, porém foi utilizado das experiências de laboratório e de competições para fundamentar os documentos necessários.

A etapa seguinte foi de fato a implementação da MCC no robô *Small Size* como meio para alcançar o novo projeto. Primeiramente dentro da metodologia foi discretizado em forma de diagrama de blocos todos os sistemas e componentes do robô. Para a MCC interessa o funcionamento do sistema sem falhas, portanto logo após o diagrama de blocos foi analisado as falhas funcionais do robô, os modos de falhas e suas consequências. Para isto a ferramenta de FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) foi de suma importância, pois ela permitiu através de planilhas quantificar e qualificar todas as falhas, esta etapa contou com a ajuda de toda equipe do RoboFEI.

Após finalizar as planilhas de FMEA foi importante analisá-las de acordo com as orientações dos autores dos livros consultados. Esta análise foi feita de forma gráfica, para explicitar as falhas mais graves, para que se pudesse realizar as modificações no projeto mecânico. E com a utilização do fluxograma de Diagrama de Decisão foi possível traçar a melhor estratégia para manutenção do robô. Este fluxograma também ajudou a responder quais sistemas e componentes devem ser reprojatados.

Com as ações recomendadas que foram apontadas nos FMEA e as perguntas respondidas do fluxograma de decisão, pôde-se enfim fazer modificações pontuais na estrutura do robô atual. Nesta fase foi utilizado o software de modelagem 3D Inventor (AUTODESK INC, 2017) para desenhar as peças que atualmente demandam mais tempo de manutenção. Com a realização do projeto no software, foi possível ainda manufaturar um protótipo da estrutura do robô novo, com isto pôde-se comparar os tempos de manutenção entre a estrutura atual e a estrutura nova.

4. IMPLEMENTAÇÃO DA MCC NO ROBÔ SMALL SIZE

Como primeiro resultado tem-se a aplicação da metodologia proposta no robô, inicialmente foi feita a parte de diagrama de blocos do robô classificando as funções dos sistemas que o compõem. Em seguida foi feita a planilha do FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) para todos os sistemas dos robôs e logo após foi adaptado o diagrama de decisão para a realidade da manutenção da equipe. Estas etapas de implementação da manutenção centrada em confiabilidade (MCC) serão apresentadas a seguir.

A primeira etapa é a modularização do ativo, ou seja, a definição das funções e dos sistemas. É importante a definição de acordo com os conceitos apresentados pelos autores estudados, assim a primeira pergunta a se responder é qual a função do robô. A função requerida do robô *Small Size* é jogar futebol com capacidade de fazer gol.

Verbo: jogar.

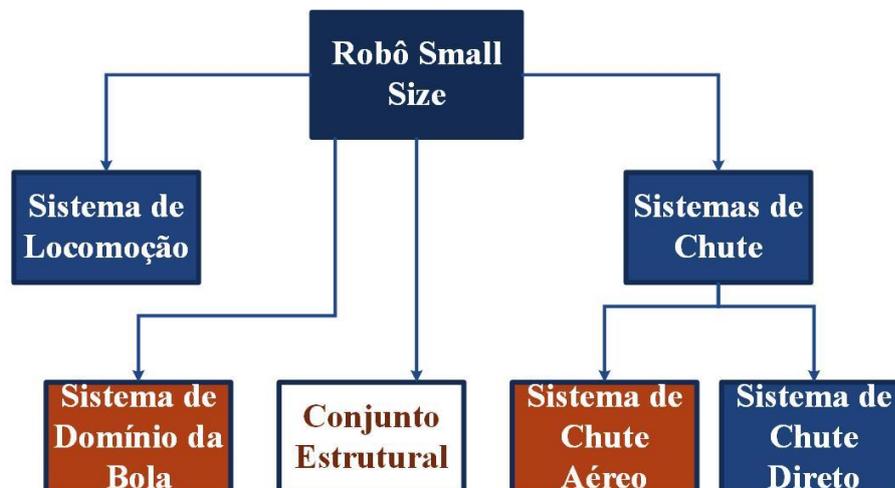
Objeto: futebol.

Padrão de desempenho: fazer gol.

As funções principais do robô *Small Size* são: locomoção (andar, jogar) e chutar (fazer gol). As funções secundárias são drible e passe que incluem dominar a bola e chutar por cima do adversário. O padrão mínimo de desempenho é executar as funções primárias. Vale ressaltar que o robô deve executar mais do que o padrão mínimo de desempenho isso inclui executar as funções secundárias. Ou seja, a capacidade inicial do robô é jogar futebol, executando chutes, passes rasteiros e aéreos, dominar a bola e mantê-la em posse da equipe RoboFEI.

Como já apresentados os sistemas que compõem o robô, fica fácil determinar quais sistemas são primários e secundários. Nesta etapa foi feito um diagrama de hierarquia dos sistemas do robô como mostra a Figura 15 a seguir.

Figura 15 – Hierarquização dos sistemas do Robô.



Fonte: Autor

No diagrama pode-se observar as funções primárias destacadas em azul, e as secundárias em vermelho. O sistema de chute é dividido em dois subsistemas, no qual o subsistema de chute reto executa uma função primária. De acordo com as regras da competição só é permitido gols quando a bola cruza a linha do gol em contato com o solo, logo não é válido gols com o chute aéreo. Assim o subsistema de chute aéreo executa, portanto, uma função secundária.

O conjunto estrutural é um subsistema necessário para integrar todos os sistemas do robô. Nele possui o conjunto superior que atualmente exerce a função de alocar as baterias e capacitores, e as peças estruturais do robô. Este subconjunto será flexível quanto ao projeto estrutural, que será modificado de acordo com as necessidades de manutenção. O diagrama completo com todos os conjuntos e componentes pode ser visto no Apêndice A.

A segunda etapa consiste na análise dos modos de falhas. Para esta etapa foi utilizado a configuração da planilha indicada pelo autor Palady (1997). Foi feita uma planilha para cada sistema apresentado anteriormente. A seguir será apresentado apenas a planilha do FMEA do sistema de chute direto como exemplo. Os resultados das planilhas de todos os outros sistemas serão apresentados no Apêndice B.

Como pode ser visto na Tabela 2. O cabeçalho com algumas informações recomendadas pelos autores, em seguida a função do sistema. E na coluna seguinte temos as falhas funcionais do sistema. Estas falhas foram levantadas baseadas na experiência dos mantenedores dos robôs. Nestas falhas estão concebidas também as

regras da competição, por exemplo, um chute exceder a velocidade de 6,5 m/s é considerado também uma falha funcional.

Tabela 2 - Função e falhas funcionais do sistema de chute direto.

Projeto:	RoboFEI Small Size
Setor:	Mecânica
Sistema:	Chute Direto
Conjuntos:	Direct Kick
Autor:	Vinícius Medeiros Alves
Funções	Falhas Funcionais
Chutar a bola em linha reta sempre em contato ao solo.	Não chutar a bola
	Chutar a bola mais do que 6,5 m/s
	Não chutar a bola em linha reta
	Fazer a bola quicar durante o trajeto

Fonte: Autor.

Prosseguindo com o FMEA foram listados os efeitos e os modos de falhas de todos os sistemas. Esta etapa contou com a ajuda de todos integrantes da equipe, pois de acordo com os autores estudados é fundamental a análise precisa dos modos de falhas visto que eles que irão determinar onde deve-se concentrar os esforços. No sistema de chute por exemplo temos por volta de 10 modos de falhas, lembrando que todos são associados somente a parte mecânica do projeto, ou seja, para uma falha de “Não chutar a bola” não foi incluído uma causa como “Não houve tensão suficiente na bateria”. Como pode ser visto na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Efeitos e modos de falhas do sistema de chute direto.

Falhas Funcionais	Efeitos	Modos de Falhas - Causas
Não chutar a bola	Não faz gols e passes	Elástico arrebitado
		Êmbolo travado dentro do carretel
		Sensor de bola desalinhado
		Eixo do êmbolo desrosqueado
		Chuteira desparafusada
Chutar a bola mais do que 6,5 m/s	Infringe regras da competição	Solenóide em curto com a estrutura
		Solenóide maior do que necessário
Não chutar a bola em linha reta	Dificulta executar as jogadas calculadas pelo software	Não regular tempo de descarga dos capacitores
		Folga entre a chuteira e o eixo roscado
Fazer a bola quicar durante o trajeto	Não faz gols	Chuteira impactar fora do centro da bola
	Dificulta o robô aliado a receber o passe	Bola travada embaixo do roller

Fonte: Autor

Após listados os modos de falhas foram inseridas as formas de controle para cada falha funcional. São as ações que já ocorrem nos processos de manutenção rotineira na equipe. Estas ações são executadas normalmente pelos alunos de engenharia mecânica da equipe, a rotatividade dos alunos ao longo dos anos dificulta a padronização dos processos de controle de manutenção.

Em seguida foram dados valores para a severidade (S) dos efeitos das falhas, para o grau de ocorrência (O) da mesma, bem como a forma de detecção (D) desta falha. Vale lembrar que a severidade está relacionada ao efeito da falha, que a ocorrência está relacionada ao modo de falha (causa) e a detecção com o controle que existe para solucioná-la. Esta parte é muito importante para o projeto pois a partir destes valores é que serão examinados o porquê da dificuldade de manutenção.

Para classificar a severidade (S) foi estipulado os valores máximos de 9 e 10 para as seguintes situações: se a falha culminasse no efeito de não executar uma função primária do robô receberia o valor de 9, e se a falha resultasse em uma infração a regra da competição o valor seria de 10, pois assim o robô não estaria apto a participar da partida. Os valores de 6 a 8 foram dados para os efeitos graves, e inferiores a 6 para

efeitos menos severos que de alguma forma a equipe consiga jogar a partida mesmo com aquele modo de falha.

Para classificar a ocorrência (O) houve um pouco mais de dificuldade, pois há duas situações a serem analisadas: situações de partidas oficiais (internacionais e nacionais) e situações de testes no laboratório. Foi decidido que os valores mínimos de situações de jogos oficiais equivalassem a valores máximos de testes de laboratório devido a importância das competições. Assim baseado na experiência dos alunos em competições e documentações de manutenção no laboratório foram dados os valores das ocorrências.

As formas de detecção das falhas são experimentais e a grande maioria são bem explícitas. Moubray (2000) afirma que a MCC é uma metodologia também para encontrar as falhas ocultas, assim as de maiores dificuldades de serem encontradas foram dados valores superiores a 5. No geral não foram encontrados valores muito altos para a detecção das falhas.

Na próxima coluna é o Número de Prioridade de Risco que é a multiplicação dos três valores. Como pode ser visto na Tabela 4. Este número como já apresentado, norteia a equipe onde estão as falhas mais graves, e as ações recomendadas são baseadas nas análises recomendadas pelos autores. Foi determinado que os valores de RPN acima de 100 representariam uma prioridade alta.

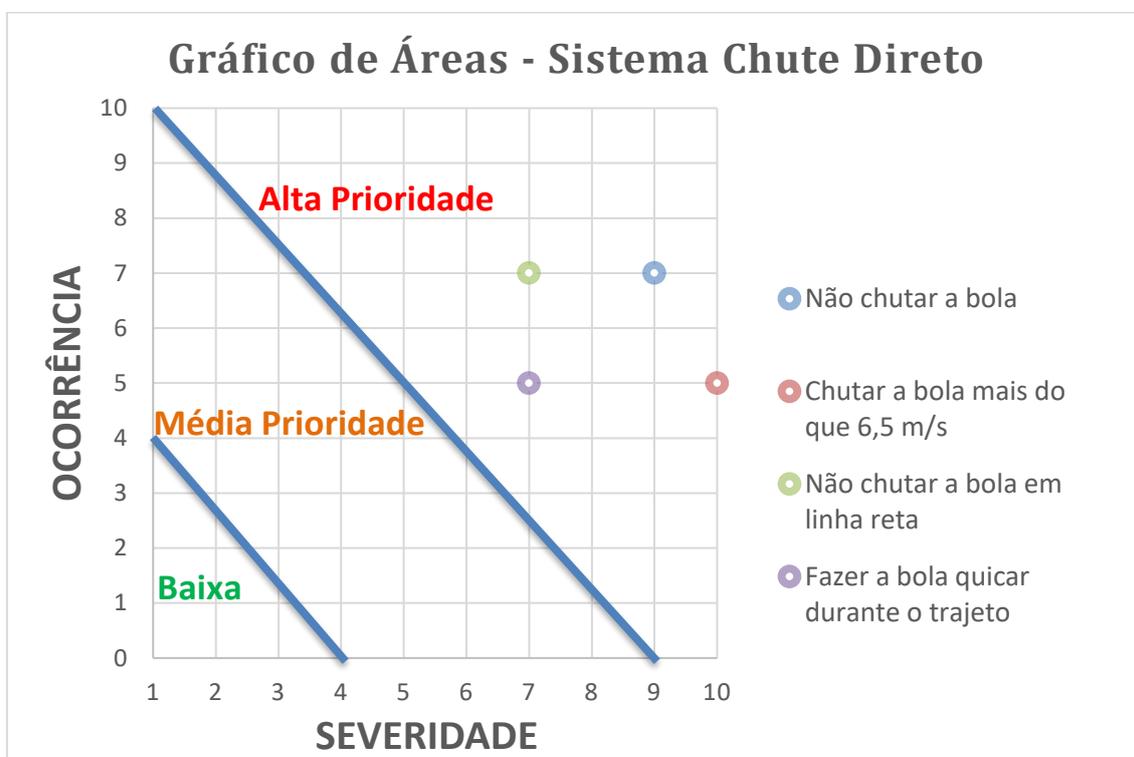
Tabela 4 - Controle, Severidade, Ocorrência, Detecção, RPN e Ações Recomendadas do sistema de chute direto.

Falhas Funcionais	Controles	S	O	D	RPN	Ações Recomendadas
Não chutar a bola	Testes de funcionalidade	9	7	2	126	Revisão do Projeto Manutenção Preventiva e Corretiva (Diminuir a ocorrência é prioridade)
Chutar a bola mais do que 6,5 m/s	Calibração do chute por meio de testes	10	5	2	100	Revisão do Projeto (Evitar os dois modos de falhas)
Não chutar a bola em linha reta	Revisão da montagem e Inspeção visual	7	7	2	98	Revisão do Projeto Manutenção Corretiva
Fazer a bola quicar durante o trajeto	Inspeção visual	7	5	2	70	Revisão do Projeto (Evitar os modos de falhas)

Fonte: Autor

Além de classificar as falhas com o valor do RPN foi utilizado o método de análise gráfica das falhas apresentado pelo autor Palady (1997). Foi determinado que as falhas em alta prioridade no gráfico serão as primeiras a serem trabalhadas, como a intenção é manter a funcionalidade do robô as falhas em sistemas primários teriam prioridade quanto as falhas em sistemas secundários independentemente dos valores de RPN de um modo de falha no sistema secundário ser maior. O gráfico para o sistema de chute direto pode ser observado na Figura 16.

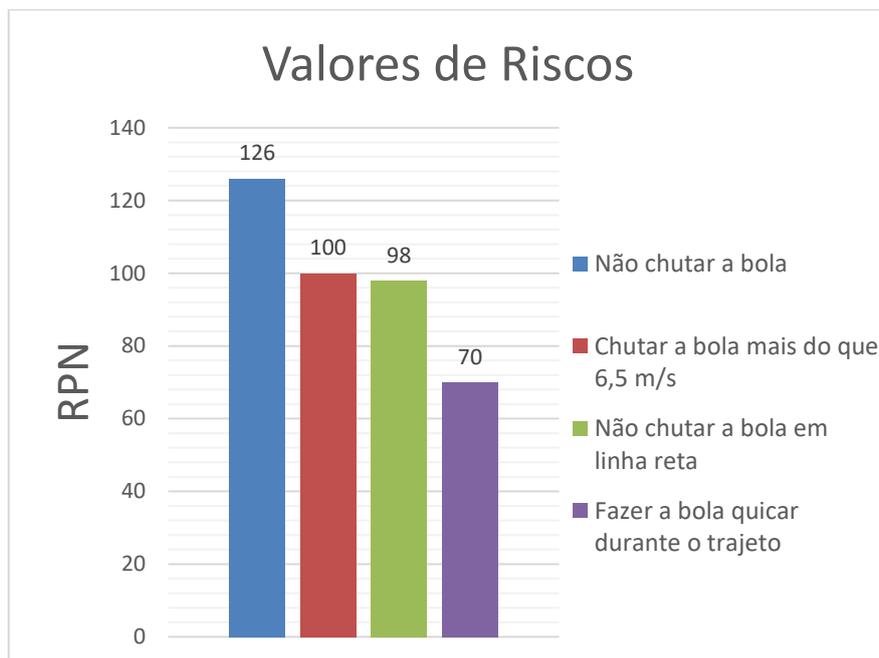
Figura 16 - Gráfico de Áreas de Prioridade.



Fonte: Autor.

Pode se notar que todas as falhas funcionais do sistema de chute direto estão classificadas na área de alta prioridade isto reflete a alta severidade das falhas assim como a grande ocorrência das mesmas. Observe ainda o gráfico classificando os valores de riscos destas falhas na Figura 17.

Figura 17 - Valores do RPN do sistema de chute direto.



Fonte: Autor.

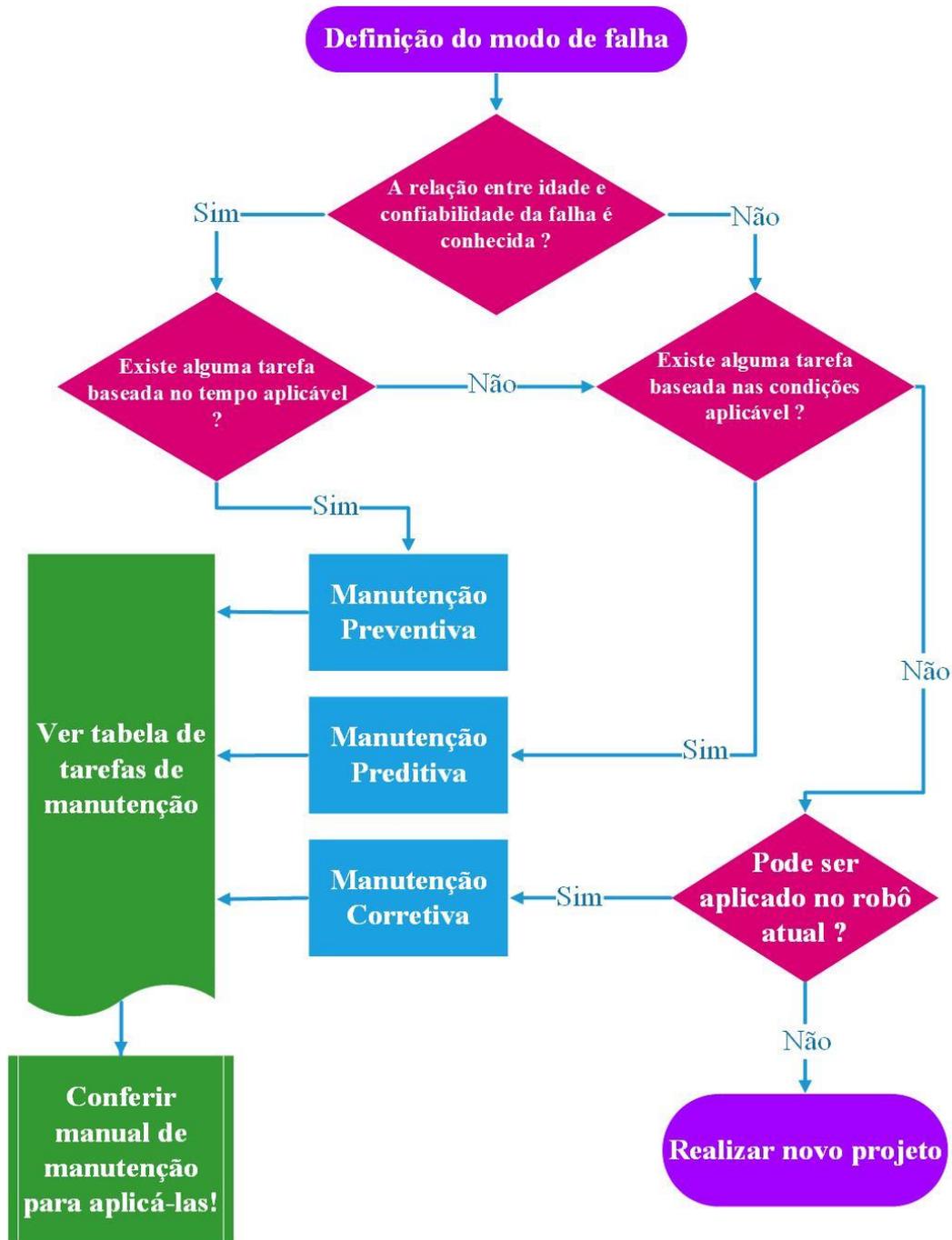
Continuando com a aplicação da MCC é necessário analisar o diagrama de decisão. O diagrama apresentado por Fleming, Silva e França, (1999) servirá como base para responder as perguntas a fim de melhorar a manutenção. Foi elaborado um próprio diagrama de decisão do RoboFEI simplificando algumas perguntas e ajustando para o cenário da manutenção da equipe.

Como pode ser visto na Figura 18 o fluxograma parte dos modos falhas apresentados no FMEA, em seguida é analisado se está falha possui alguma ação planejada (manutenção preventiva) para evitá-la, se a resposta for negativa ainda há uma forma de detectar a falha, ou seja, a manutenção preditiva, se a resposta ainda for negativa parte-se para a manutenção corretiva no robô atual. Se não for possível corrigir esta falha é necessário, portanto mudar o projeto.

Então o FMEA serve para o levantamento das falhas, suas causas e consequências, o diagrama de decisão serve para responder se há atividades de manutenção que possam resolver o problema e se não houver a solução é o reprojeto. Tudo isso faz parte da manutenção centrada na confiabilidade, com a realização destas documentações e este embasamento científico pode-se alterar o projeto mecânico conforme as funções principais e diminuir as falhas funcionais e evitar os modos de

falhas. Conhecendo o robô a fundo é mais fácil projetar componentes mecânicos que facilitem a montagem e manutenção do robô atingindo o objetivo proposto.

Figura 18 - Diagrama de Decisão do RoboFEI.



Fonte: Autor.

A planilha completa do FMEA pode ser conferida no Apêndice C, tem-se cada sistema dividido em uma tabela, foram feitas duas planilhas para os sistemas primários

(chute direto, locomoção) e duas para sistemas secundários (drible, chute aéreo). As falhas funcionais que apresentaram maior número de RPN no sistema de locomoção foram “se locomover com deficiência”, “não se locomover” associadas aos modos de falhas “encoder desalinhado”, “eixo da roda solto”. Já para o sistema de chute direto a falha funcional “não chutar a bola” foi a que apresentou maior RPN, devido principalmente ao modo de falha “elásticos arrebitado”. No próximo capítulo será explicado como foram encontradas as soluções para estes modos de falhas mais agravantes nos sistemas primários do robô.

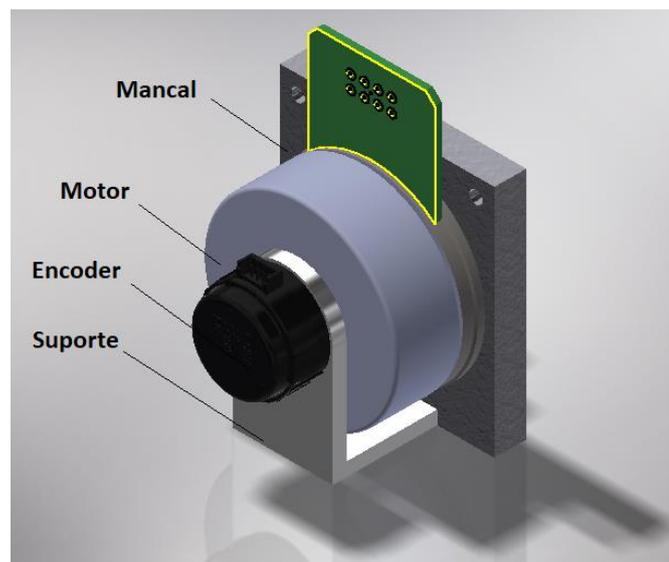
5. REALIZAÇÃO DO NOVO PROJETO

A partir dos dados levantados nos estudos da MCC é possível, portanto realizar mudanças pontuais no projeto mecânico do robô. Nos próximos capítulos serão apresentadas as alterações feitas nos sistemas e em seus componentes para facilitar a manutenção do mesmo. Os modos de falhas citados ao longo deste capítulo podem ser conferidos na planilha FMEA no Apêndice C.

5.1 ALTERAÇÕES NO SISTEMA DE LOCOMOÇÃO

A falha funcional que apresentou maior valor de RPN no sistema de locomoção foi de “se locomover com deficiência”, no gráfico de área de risco apresentou alta prioridade, e o modo de falha que mais agrava esta falha é “encoder desalinhado”. O número de ocorrências que foi levantado com nota 9, extremamente elevado, a fim de diminuir este número de ocorrência e facilitar o acesso ao componente do encoder foi feita uma mudança nos mancais de suporte do motor e na fixação do encoder. Como pode ser visto na Figura 19, os encoders são fixos desta maneira atualmente.

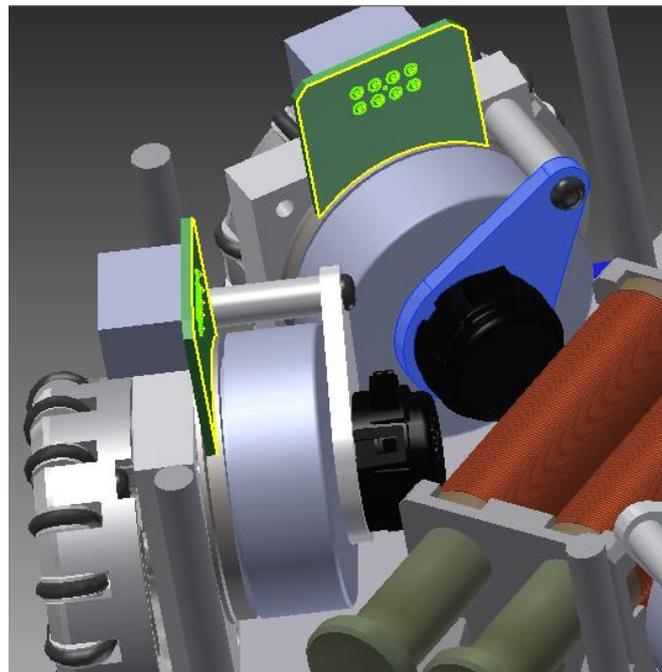
Figura 19 – Conjunto do mancal atual



Fonte: Autor

Como mostrado na Figura 19 a geometria dos suportes atualmente é em formato de “L”. Devido aos choques inerentes de uma partida, esta peça estava sujeita a flexão, isto porque a mesma estava em contato com a chapa inferior do robô, desalinhando assim o disco do encoder. Baseado na equipe japonesa RoboDragons (KOTARO Y. et al. 2014) a fim de evitar este modo de falha, a alteração encontrada foi fixar o suporte apenas de um lado e com um parafuso, como mostra a Figura 20.

Figura 20 – Tentativa de alteração do suporte

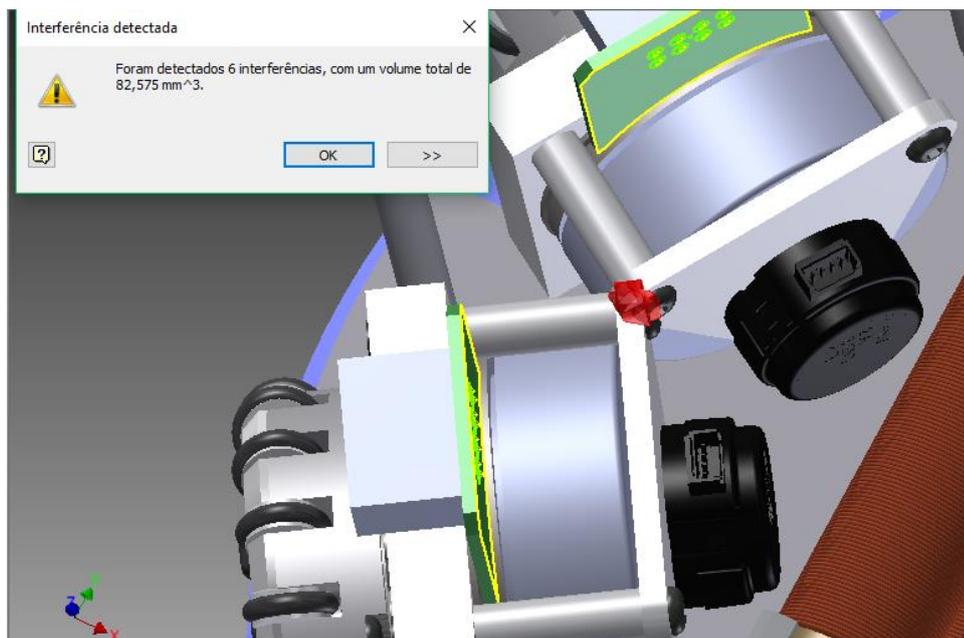


Fonte: Autor

Com este tipo de suporte, o robô teria que possuir quatro mancais com geometrias diferentes para que os furos ficassem na posição correta, isto iria contra a ideia de padronizar o máximo possível das peças para economizar na manufatura, uma vez que atualmente há apenas duas geometrias de mancais.

Uma alternativa encontrada foi baseada na equipe japonesa KIKS (OKUDA, S. et al. 2014) com o suporte fixado em cima do motor por duas hastes ilustrado na Figura 21. Contudo, como pode ser visto na Figura 21 haveria uma interferência entre um suporte e outro, invalidando a solução proposta.

Figura 21 - Segunda tentativa de alteração no suporte

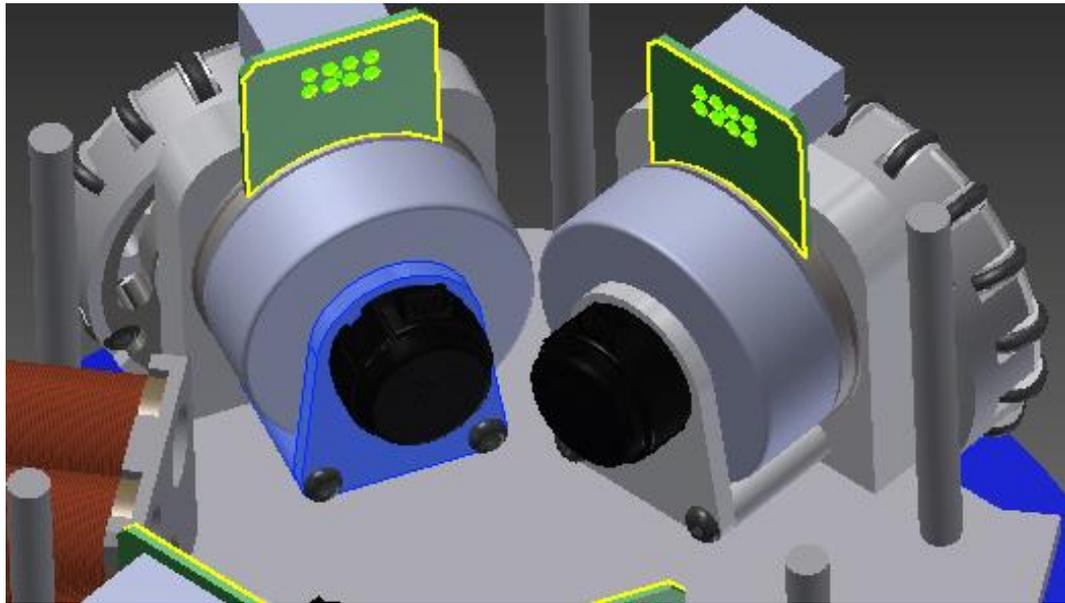


Fonte: Autor

Invertendo a posição do suporte encontrou-se uma boa solução, fixado por duas hastes na parte inferior do mancal sem que encostem na chapa inferior, para evitar os choques causados por outros robôs na mesma. Este suporte deve ser feito de alumínio, pois os furos da placa do encoder vêm do fabricante com roscas métricas de 2,5 mm, segundo testes realizados com a impressão 3D, para furos com roscas inferiores a 3,0 mm não ficam com qualidade as impressões dos filetes das roscas, independentemente das configurações de impressão. A geometria final do suporte pode ser observada na Figura 22. Para conseguir o encaixe desta geometria foi necessário alterar o ângulo de posição das rodas em relação aos eixos principais do robô. Atualmente a posição em relação ao eixo horizontal é de 33° , como já apresentado na Figura 3, foi preciso alterar este ângulo para 32° , o suficiente para encaixar a nova estrutura no espaço disponível. A vista explodida deste novo conjunto pode ser observada na Figura 23.

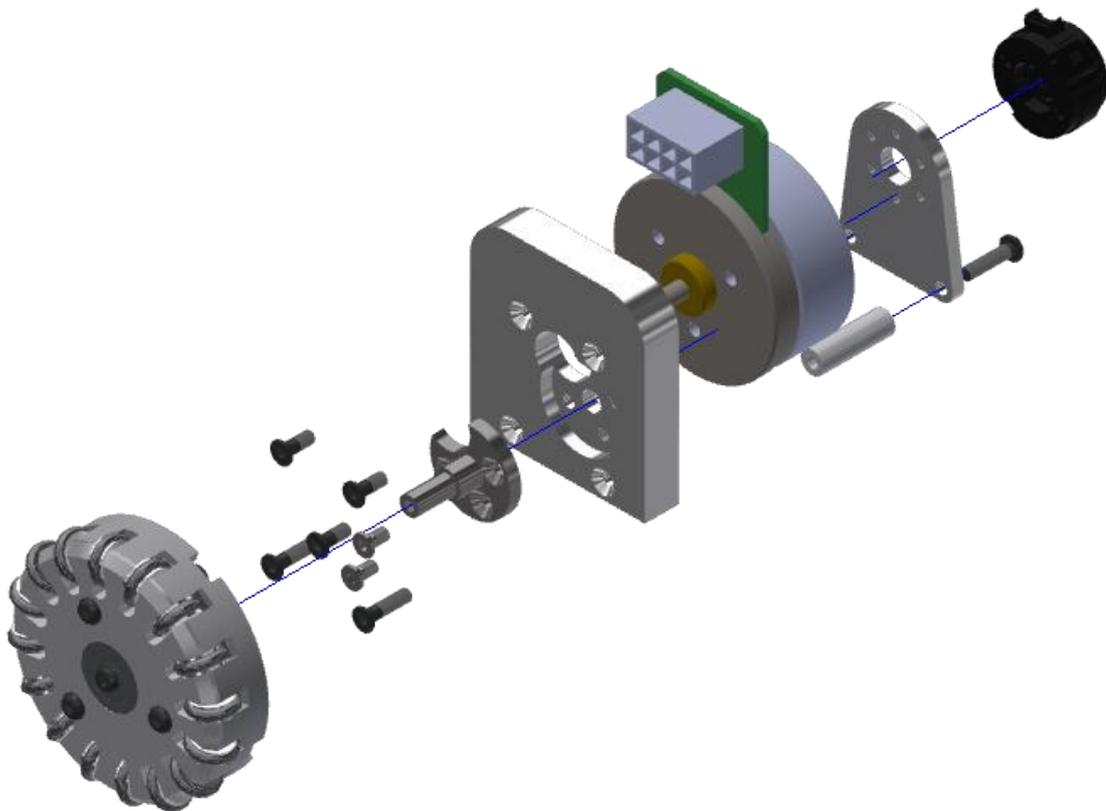
O ângulo de posição das rodas influencia diretamente na programação dos robôs, para efeitos de cálculos de velocidade das rodas, o ângulo de decomposição dos vetores no plano cartesiano foi alterado, portanto este robô já não poderá ser utilizado com o firmware atual, é necessário alterar este ângulo na programação.

Figura 22 – Geometria final do suporte do encoder destacado.



Fonte: Autor

Figura 23 - Vista explodida do novo conjunto do mancal

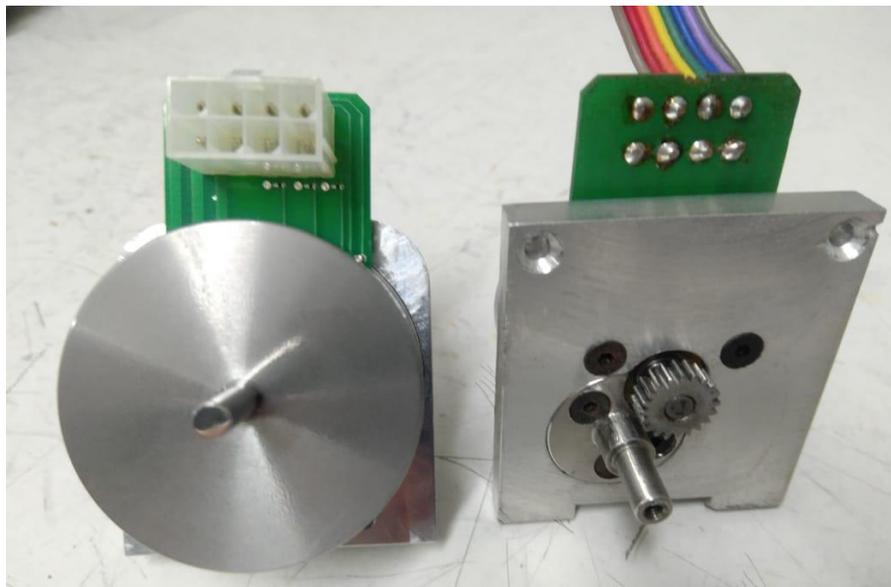


Fonte: Autor

A geometria final do mancal pode ser observada no Apêndice D de desenhos técnicos. Conferindo a planilha FMEA do conjunto estrutural observou que o efeito de “cair parafusos” está associado não só o tempo de vida útil dos componentes, mas também a forma inadequada de utilizar os parafusos de fixação com comprimentos inferiores ao necessário, pois alguns parafusos eram cortados para serem adaptados nesta estrutura. Tendo esta informação, foi alterado a espessura do mancal para garantir a fixação correta dos eixos das rodas em seus respectivos mancais. Os desenhos técnicos dos eixos alterados podem ser conferidos no Apêndice D.

Outra alteração importante neste conjunto foi manter o conector do motor na sua própria placa eletrônica (motor da esquerda na Figura 24), isso possibilitou que o motor seja removido do mancal retirando também o cabo do motor. Atualmente os cabos dos motores são soldados diretamente nas placas eletrônicas, como mostra o conjunto do lado direito na Figura 24, esta é a maior causa do modo de falha “motor não funciona”, que apresenta alto índice de ocorrência, estas soldas na placa se rompem com facilidade com o manuseio do motor e para fazer a manutenção corretiva é necessário desmontar o robô por completo.

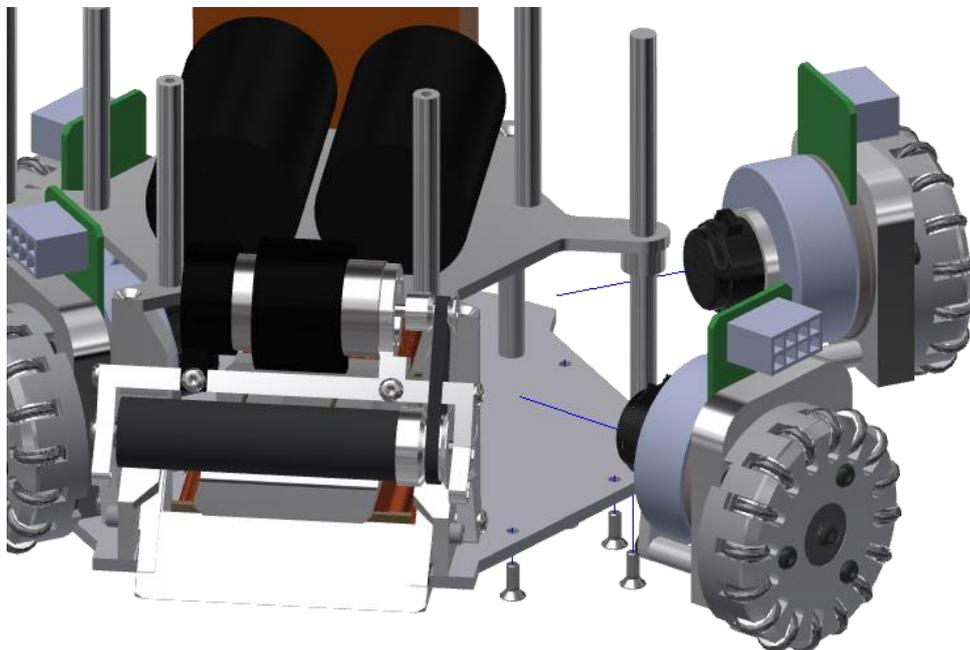
Figura 24 – Conector na placa do motor a esquerda e fios soldados direto na placa do motor a esquerda



Fonte: Autor

Para facilitar a retirada do conjunto da roda, foram retirados os batentes dos mancais que antes eram parafusados na parte superior impedindo a remoção deste conjunto pela lateral. Com o novo mancal projetado é possível retirar o conjunto sem desmontar o robô por completo como pode ser visto na Figura 25. Com os mancais parafusados somente na chapa inferior e com os conectores dos motores em suas respectivas placas eletrônicas é possível remover o conjunto pela lateral para manutenções corretivas.

Figura 25 – Remoção do conjunto roda pelas laterais



Fonte: Autor

Cabe ainda uma ressalva ao sistema de locomoção quanto as rodas, após as análises das falhas e seguindo o diagrama de decisão discutido anteriormente chegou-se à conclusão que é necessário um projeto novo de roda para solucionar a falha funcional de “derrapar ao se locomover”, que no gráfico não está dentro da área de alta prioridade, vide Apêndice B, assim entendeu-se não estar dentro do escopo deste projeto. Portanto fica como proposta futura projetar uma nova roda para melhorar a movimentação.

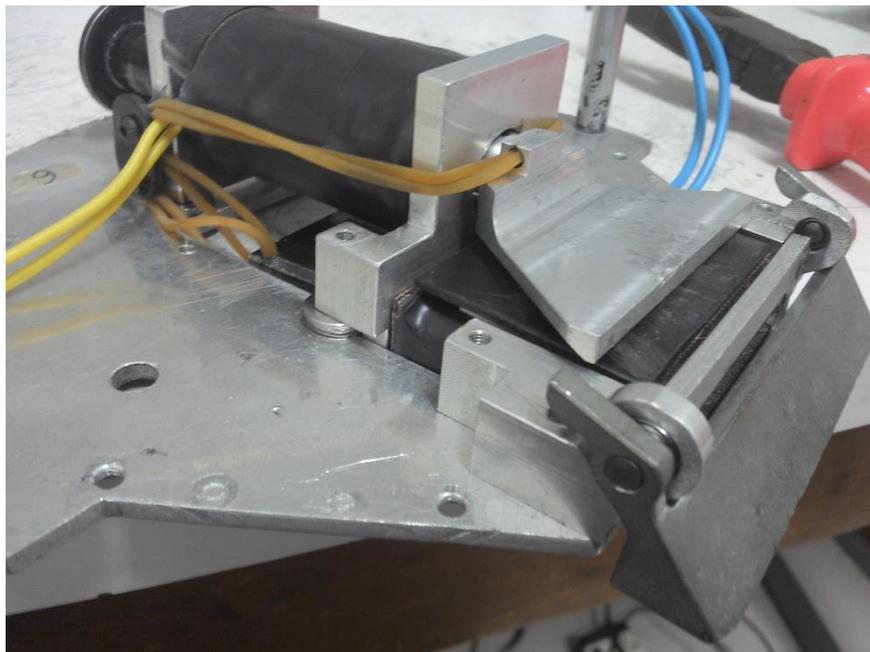
5.2 ALTERAÇÕES NOS SISTEMAS DE CHUTES

A principal alteração neste sistema foi implementar o chute direcional neste projeto, uma vez que este mecanismo já foi testado e aprovado em um robô protótipo.

A maior falha apontada foi de “não realizar o chute” e os principais modos de falha são “elástico arrebitado” e “eixo do êmbolo desrosqueado”. Este segundo modo de falha foi facilmente solucionado com a aquisição de uma cola trava rosca, utilizando algumas gotas da cola trava rosca de torque baixo esta falha foi diminuída consideravelmente. Foram testados dois tipos de cola, torque médio e torque baixo, a de torque médio foi muito difícil de ser retirada após os jogos por isso a melhor opção foi a de torque baixo. Esta cola diminuiu ainda a ocorrência em mais outros modos de falhas como “chuteira mal parafusada” e “folga entre a chuteira e o eixo roscado” que estão associados ao efeito de não fazer gols e passes.

Para o modo de falha de “elástico arrebitado” foi necessário trocar o sistema de retorno do embolo do solenoide, ilustrado na Figura 26, os elásticos são soluções simples e de baixo custo, porém a troca deste componente requiere muito tempo de manutenção, pois é difícil o acesso para a substituição, precisando desmontar o robô por completo como pode ser visto na Figura 27.

Figura 26 - Elásticos atuais para o retorno do êmbolo



Fonte: Autor

Figura 27 - Sistema de chute desmontado para retirar o elástico

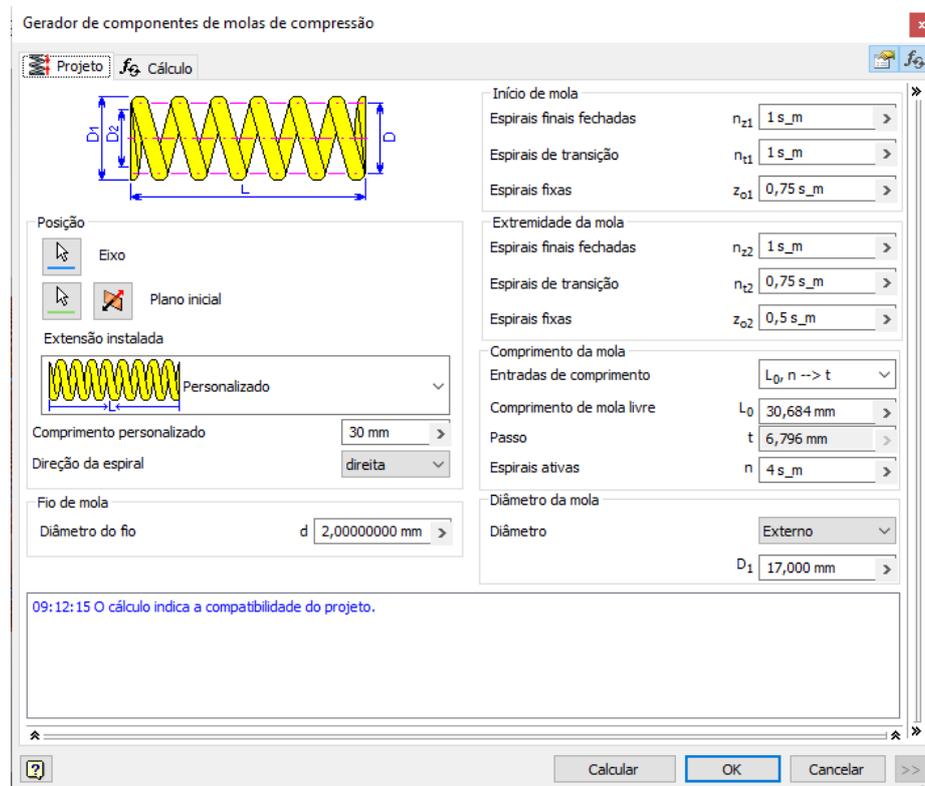


Fonte: Autor

Observando outras equipes e analisando a situação dos elásticos após o fim das competições foi decidido então que para aumentar a confiabilidade deste sistema e assegurar o retorno do embolo na posição correta era necessário utilizar uma mola. No espaço disponível a melhor solução encontrada foi utilizar mola cilíndrica de compressão.

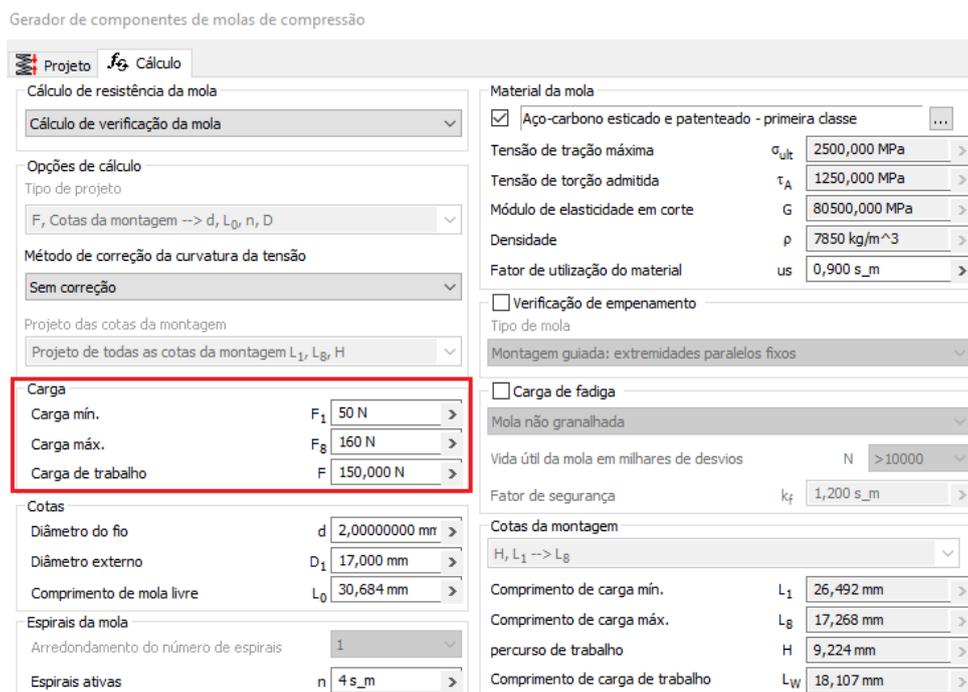
Foi então dimensionada uma mola cilíndrica de compressão utilizando o módulo “*Design Accelerator*” do software Inventor (AUTODESK INC, 2017). Utilizando os dados de entrada de acordo com a geometria disponível de diâmetro externo (D_e), comprimento livre (L_0) e diâmetro do fio (d). Como pode ser visto na Figura 28, foi verificado a compatibilidade das dimensões com as forças de trabalho e de máxima compressão, que foram baseadas nas experiências realizadas no laboratório de mecânica dos sólidos onde foi instrumentado o sistema de chute para descobrir a força causada pelo êmbolo, (este estudo de forças se deu antes do início deste projeto de pesquisa), as forças estão destacadas na Figura 29.

Figura 28 - *Design Accelerator* gerador de componentes de molas de compressão



Fonte: Autor

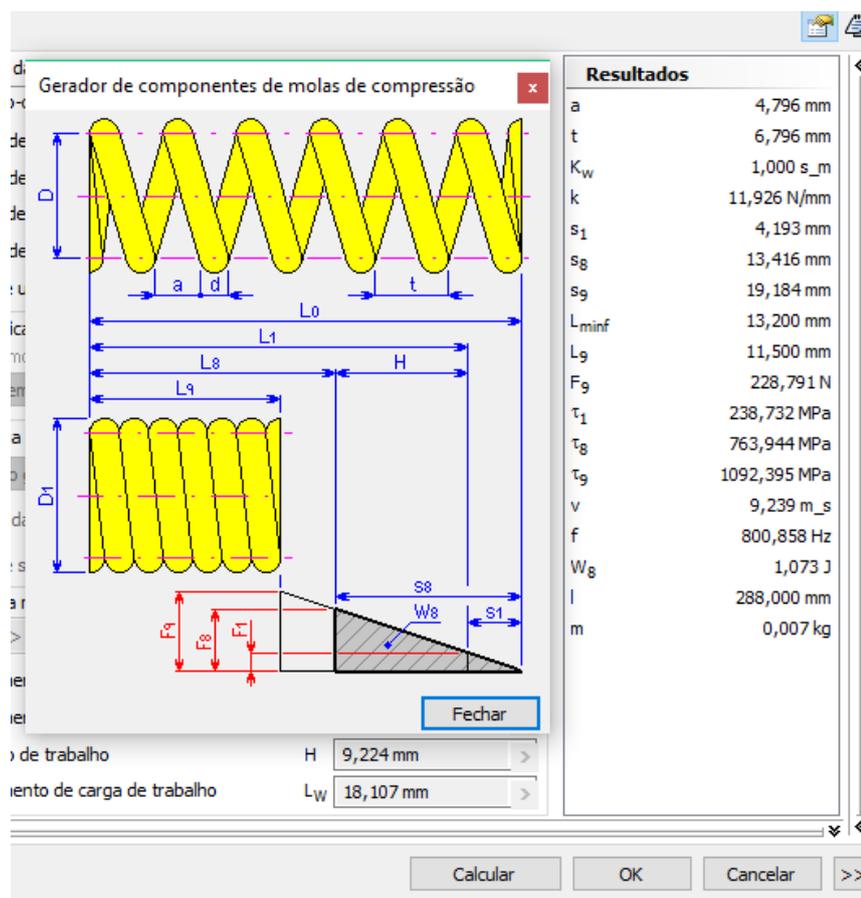
Figura 29 – Cálculo do dimensionamento da mola de compressão



Fonte: Autor

Foi verificado a disponibilidade desta mola no mercado, uma vez que o intuito é que seja um componente comercial e de fácil aquisição, foi necessárias algumas variações nos parâmetros, como por exemplo o número de espiras ativas (N_a), que teve que ser reduzido para apenas 4 e comprimento de máxima compressão (L_0) que o menor valor atingido foi 11,50 mm, era preciso reduzir o máximo possível o comprimento da mola. Assim as dimensões finais da mola podem ser observadas na Figura 30

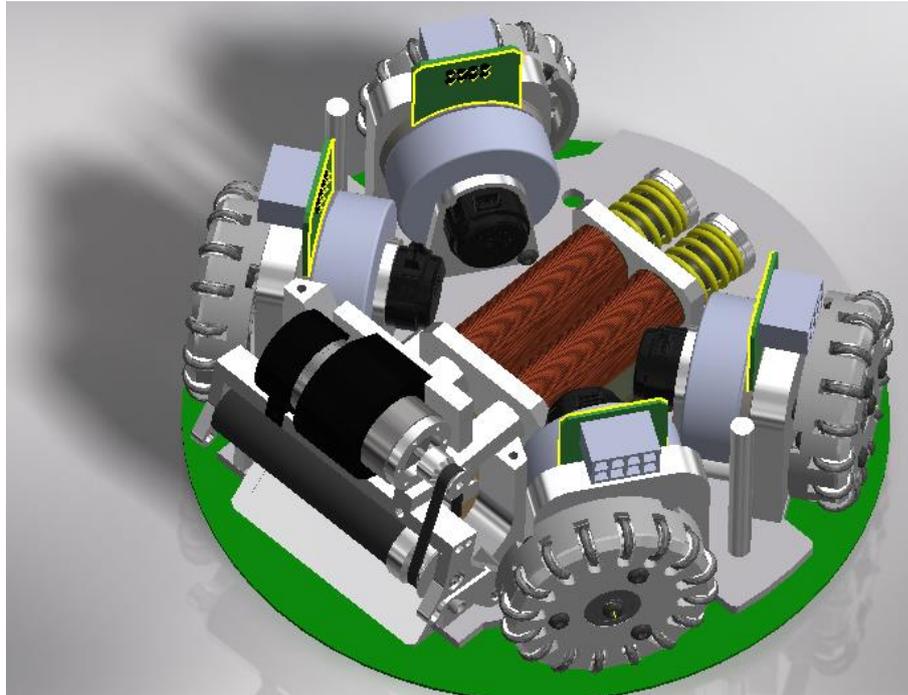
Figura 30 - Dimensões da mola de compressão



Fonte: Autor

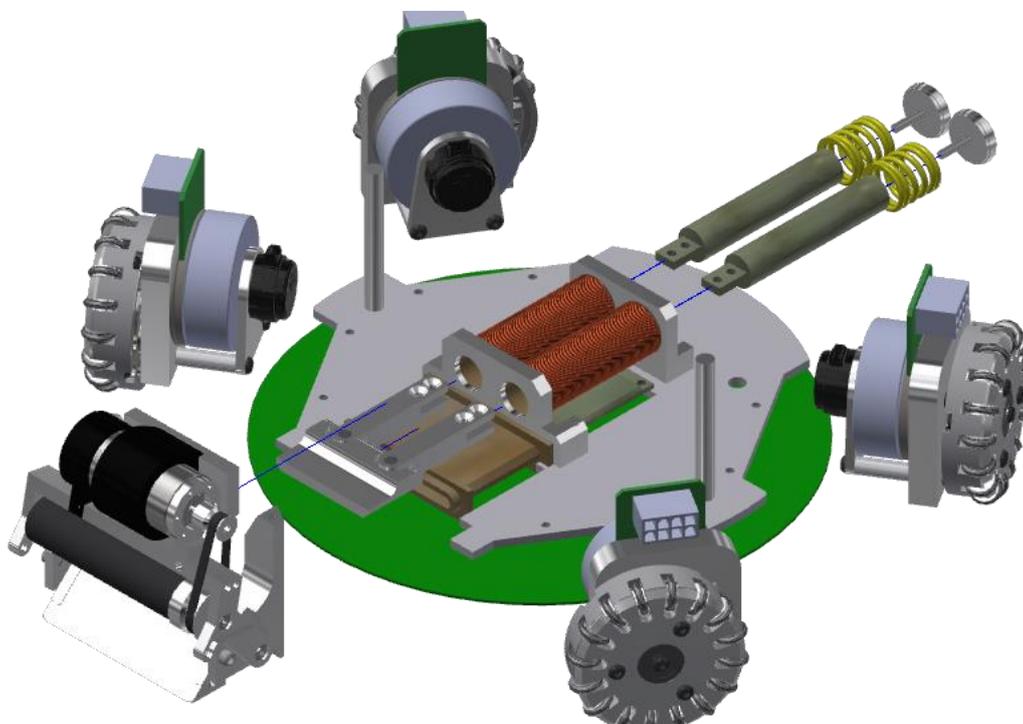
O novo sistema de chute implementado com as molas dimensionadas que farão o retorno do embolo ao serem comprimidas está ilustrado na Figura 31. Para facilitar o acesso as molas, foi necessária projetar uma “tampa” com rosca no corpo do êmbolo para ter acesso facilitado as molas pela traseira do robô como ilustra Figura 32

Figura 31 – Chute direcionável implementado do robô



Fonte: Autor

Figura 32 – Desmontagem do sistema de chute

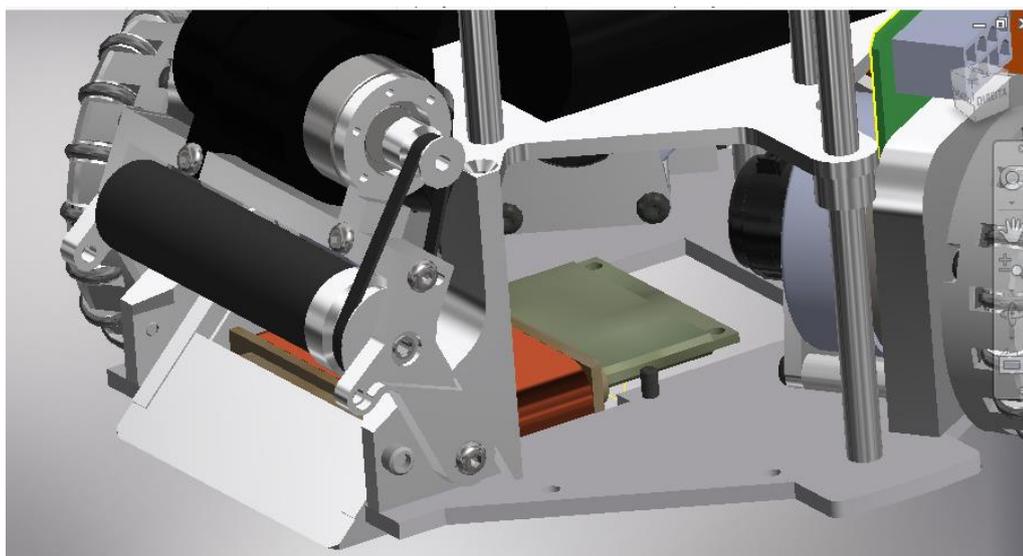


Fonte: Autor

A falha funcional que apresentou o segundo maior índice de risco foi “chutar a bola mais do que 6,5 m/s”, após a análise no diagrama de decisão, haveria a necessidade de redimensionar o solenoide para que não exceda a carga de descarregamento da energia dos solenoides. Com auxílio dos membros da eletrônica da equipe foi possível utilizar dois capacitores com 2000 μF para o descarregamento da energia nos solenoides, foram realizados testes com solenoides protótipos para executar o chute inferior a 6,5 m/s, regulando o tempo de descarga destes capacitores através do software do robô. Não foi possível a construção deste sistema devido a necessidade de uma nova placa eletrônica que possibilite o descarregamento em ambos os solenoides ao mesmo tempo.

Por se tratar de um subsistema do robô que executa uma função secundária, o chute aéreo, que corresponde ao sistema *Chip Kick* não foi o foco nesta parte do projeto. No entanto realizou-se tentativas de aprimorar sua estrutura, mas não foi possível modificar a geometria do solenoide devido à falta de espaço na parte inferior, houve grande dificuldade em encaixar um solenoide cilíndrico (igual ao do chute direto), várias tentativas frustradas resultaram na permanência da geometria do “flat” que de fato é a melhor geometria para otimizar o espaço, vide a Figura 33.

Figura 33 - Êmbolo em formato de flat



Fonte: Autor

Apesar da falha funcional “não realizar um lançamento para longas distâncias” apresentar o maior valor de RPN de 126 neste sistema, foi discutido junto a equipe que

no cenário atual de competição onde o RoboFEI participa da Liga B na RoboCup, este recurso de chute que possibilita jogadas de ataque não é essencial para vencer nesta liga, logo este valor de 126 foi superestimado, contudo ainda há a preocupação de revisar o projeto do *Chip Kick* uma vez que a equipe almeja participar da Liga A em breve, onde um chute aéreo com longo alcance é fundamental. Como estímulo a futuras pesquisas fica a Tabela 5 que mostra a distância alcançada pelas equipes da Liga A com o lançamento balístico.

Tabela 5 - Comparação Chip Kick

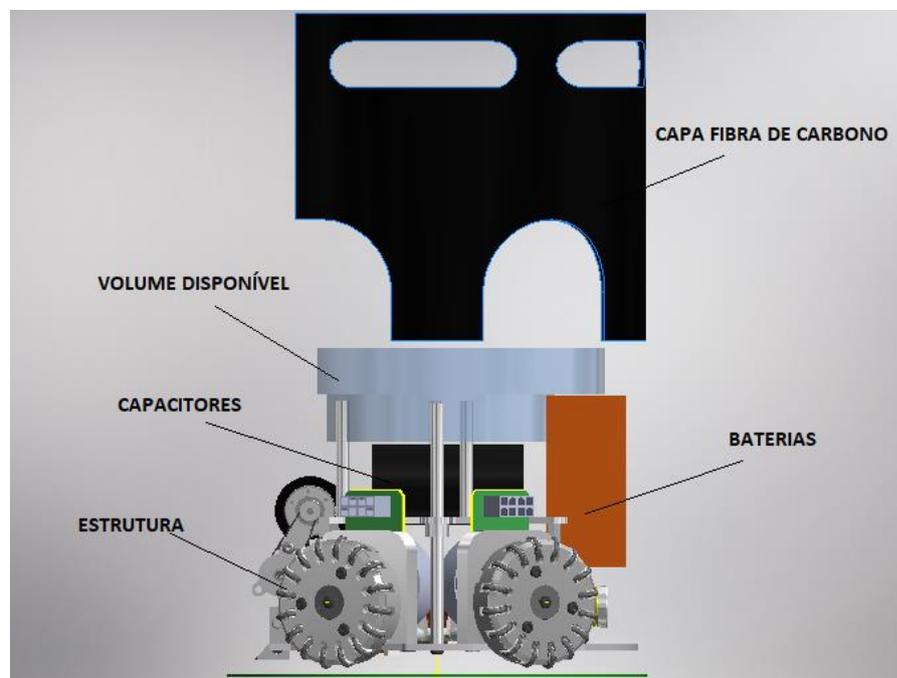
Principais Equipes Liga A	RoboCup Desempenho	Distância do Chip Kick	Fontes
CM Dragons (EUA)	5 títulos + 6 pódios	4,5 m	TDP 2013
Skuba (Tailândia)	4 títulos + 1 pódio	7,5 m	ETDP 2013
ZJUNlict (China)	3 títulos + 6 pódios	3,2 m	ETDP 2013
MRL (Irã)	1 título + 4 pódios	6,0 m	TDP 2016
RoboDragons (Japão)	5 pódios	4,0 m	TDP 2016
KIKS (Japão)	3 pódios	3,0 m	TDP 2015
STOx's (Colombia)	1 pódio	5,0 m	ETDP 2015
Tigers Mannheim (Alemanha)	1 pódio	4,0 m	TDP 2016
RoboFEI (Brasil)	8ª lugar em 2012	2,0 m	testes no laboratório

Fonte: Autor

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como a metodologia da manutenção centrada em confiabilidade visa estabelecer a prioridade nos sistemas de função primária na qual corresponde pela função requerida do ativo, foi priorizado neste projeto os mecanismos de locomoção e chute. Contudo foi possível ainda otimizar o espaço interno para implementação da nova placa eletrônica que está em desenvolvimento paralelo a esta pesquisa. Na Figura 34, tem-se representado esquematicamente o volume disponível para encaixar as placas eletrônicas.

Figura 34 - Espaço disponível para eletrônica



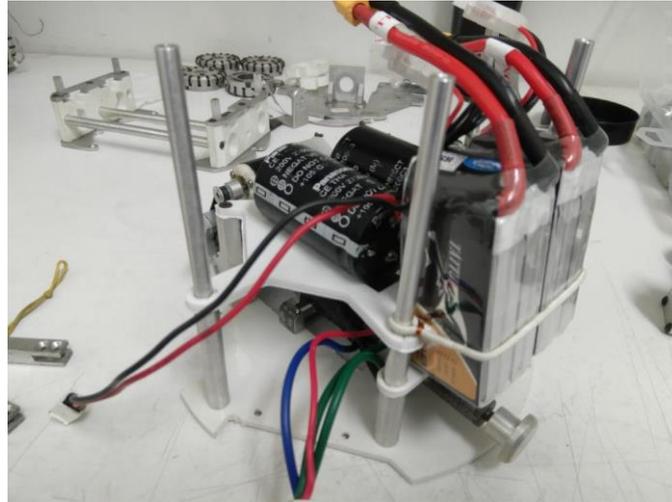
Fonte: Autor

O sistema de domínio da bola já foi tema de duas iniciações científicas e os ambos os projetos culminaram em várias versões com problemas pontuais cada, a melhor versão foi implementada neste projeto, não houve alterações quanto o estudo de controle de bola e nem domínio, pois certamente não fazia parte deste projeto sendo um subsistema que exerce duas funções secundárias, uma vez os valores de RPN foram os menores de todos os outros sistemas do robô apesar de ser o conjunto com mais falhas funcionais.

Para separar a parte eletrônica do conjunto inferior do robô, foram desenhadas hastes para suportar a estrutura das placas eletrônicas que serão desenvolvidas, esta

ideia de separar o robô por hastes foi inspirado no robô da equipe TIGERS Mannheim (DUALE HOCHSCHULE BADEN-WÜRTTEMBERG, 2017). Na Figura 35 observa-se a estrutura de hastes desenvolvida para suportar os capacitores e as novas baterias que serão utilizadas neste projeto.

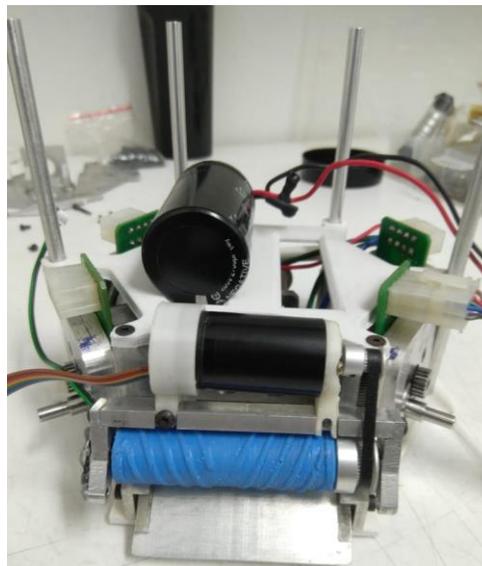
Figura 35 – Fixação baterias e capacitores.



Fonte: Autor

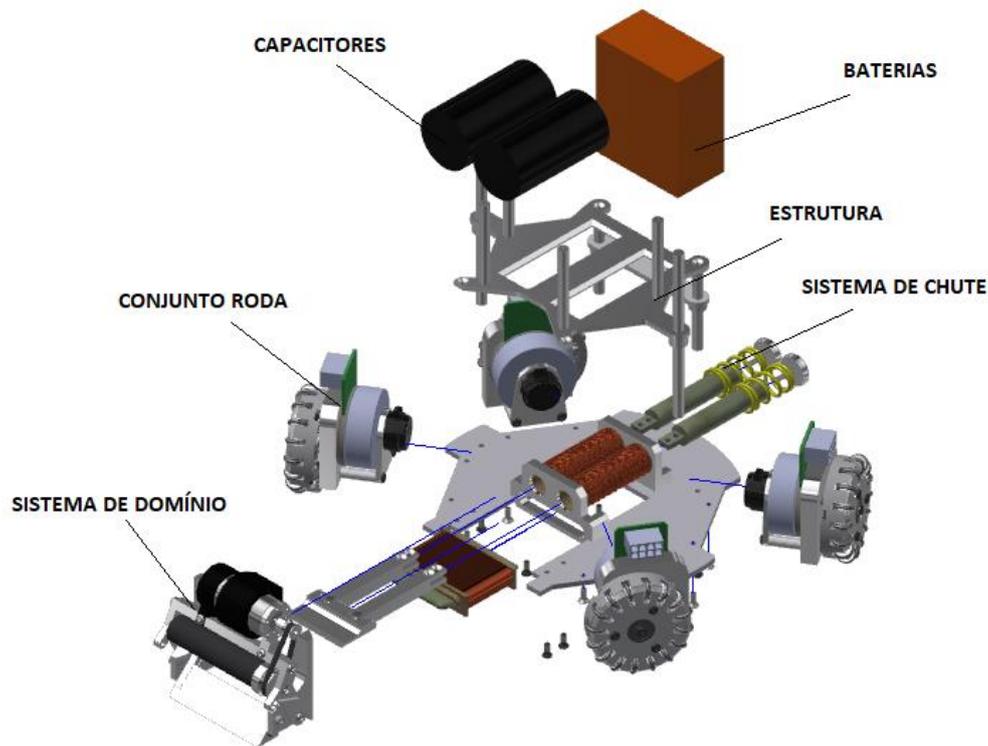
Na Figura 36 tem-se protótipo para testes montado. Por fim tem-se a estrutura final do robô *Small Size* em vista explodia que mostra a Figura 38 com todos os conjuntos separados independentes.

Figura 36 - Montagem do protótipo.



Fonte: Autor

Figura 37 - Novo projeto desmontado



Fonte: Autor.

Para validar o projeto de manter o robô modular e de fácil montagem e desmontagem foi realizado os testes padrões de manutenção. Com isso pode-se cronometrar o tempo de montagem e desmontagem da estrutura nova e comparar com a estrutura atual do robô *Small Size*. Como pode ser observado na Tabela 6, houve uma diferença de 2 minutos e 39 segundo na montagem e de 2 minutos e 13 segundos na desmontagem. O que representa uma redução de 14% no tempo de montagem e de 18% no tempo de desmontagem. Estes valores são mais significativos quando contextualizados em ambiente de competição onde é necessário montar e desmontar 8 robôs em um intervalo curto de tempo entre as partidas.

Tabela 6 - Comparação de tempos de montagem e desmontagem.

	Tempos (min)	
	Montagem	Desmontagem
Estrutura Atual	18:51	12:34
Estrutura Nova	16:12	10:21

Fonte: Autor

7. CONCLUSÕES

A manutenção centrada em confiabilidade (MCC) neste projeto está aplicada como uma forma de justificativa de mudança de projeto, muitas equipes internacionais servem de referência, porém as condições financeiras, a cultura organizacional da equipe e até as condições do país são fatores a serem considerados quando os robôs são comparados.

Com a utilização do FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) foi possível obter uma análise profunda de como o robô pode falhar e quais as maneiras de corrigir. O FMEA levantou os gráficos de área que aponta a maioria das falhas funcionais dentro da área de alta prioridade, e os valores de RPN em sua maioria excederam a 100. Evidenciando a gravidade das falhas e elevados valores de ocorrência o que leva a concluir que a ocorrência está associada ao tempo de vida útil do robô. Foram encontradas falhas que antes não tinham sido explícitas. O diagrama de decisão foi fundamental para elaborar dois documentos importantes: uma Tabela com as especificações das tarefas de manutenção e um manual de manutenção para o robô atual. Essas documentações importantes serão agregadas a uma ficha técnica dos robôs já existente.

Outro ponto a ser considerado é a dificuldade de implementação desta metodologia que tem padrões bem definidos para a indústria, para um projeto de pesquisas como o RoboFEI, principalmente para assimilar e aplicar os métodos. Os autores consultados na bibliografia alertam para a preparação da equipe que irá realizar a MCC e também para o nível de detalhe aplicado, tudo isso foi ajustado e simplificado para se encaixar no ativo estudado, mas o cerne da metodologia foi mantido.

Neste projeto foi focado na função requerida do RoboFEI que é jogar futebol com capacidade de fazer gols, como foi definido, as funções principais são executadas pelos sistemas de locomoção e de chute direto. As melhorias feitas no projeto foram específicas para facilitar a manutenção destes sistemas e ainda diminuir a ocorrência de manutenção corretivas, a severidade dos modos de falhas nesses sistemas são inerentes da competição, ou seja, a solução é trabalhar na forma de evitar essas falhas ter planos e estratégias que possibilitem a manutenção. Baseado nas experiências de competição, o tempo de manutenção é fundamental entre um jogo e outro e um projeto que vise a facilidade de montar e desmontar o robô é de grande valia neste momento. O principal

resultado foi remoção do conjunto dos mancais sem a necessidade de desmontar a estrutura, encontrar esta solução de desmontagem do robô foi desafiador.

Ainda há muito que se fazer principalmente nos sistemas que executam funções secundárias e que, portanto, complementam a capacidade do robô Small Size. Melhorias como reprojetado do sistema de lançamento balístico do chute aéreo e projetar novas rodas são pesquisas futuras que baseadas em cima da metodologia da MCC serão certamente significantes para aumentar a confiabilidade do robô.

Este projeto além de deixar alterações importantes no projeto do robô, possibilitou ainda uma série de documentações nunca feita antes na equipe RoboFEI que facilita a pesquisa e o desenvolvimento do futebol de robôs na FEI.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

BRAGA, Caio J. Relatório Final da Iniciação Científica PBIC031/16: **Mecanismo de Chute com Direção Variável**. Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2017.

BRIAN, C., G. MATT, et al. **Mechanical Design and Modeling of an Omni-directional RoboCup Player.**, Department of Mechanical Engineering an Innovation in Mechanics and Management, Ohio University and University of Padova, 2001.

FLEMING, Paulo Victor; SILVA, Mauricio Flock da; FRANÇA, Sandro Ricardo R. O. **Aplicando manutenção centrada em confiabilidade (MCC) em indústrias brasileiras: lições aprendidas.** (1999). Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENECEP1999_A0366.PDF. > Acesso em 10 jan. 2018.

FOGLIATTO, Flávio S. Material Didático: **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)**, Rio de Janeiro, 2009.

FOGLIATTO, Flávio S; RIBEIRO, José L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro. Elsevier, 2009.

GURZONI JR, Ângelo J. et al. **RoboFEI 2010 Team Description Paper**. Disponível em:<http://wiki.robocup.org/File:Small_Size_League_-_RoboCup_2010_-_TDP_RoboFEI.pdf>. Acesso em 19 ago. 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. Volume. 3, 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. e WALKER, J. **Fundamentos de Física: Mecânica**. Volume 1, 9ª ed. Rio de Janeiro: /LTC, 2012.

INVENTOR, Autodesk Inc. **Página oficial do software**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/inventor/overview>>. Acesso em 18 ago. 2017.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 3 Ed. Rio de Janeiro. Qualitymark Petrobras, 2009.

KOTARO Yasui, et al. **RoboDragons 2013 Team Description**, RoboCup 2014. Disponível em: http://wiki.robocup.org/images/f/f9/Small_Size_League_-_RoboCup_2014_-_ETDP_RoboDragons.pdf Acesso em: 18 fev 2018.

MOUBRAY, John. **Reliability-centred Maintenance (RCM)**. 2 Ed. Lutterwoth, Inglaterra, Aladon Ltd, 2000.

NORTON, Robert. L. **Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos**. São Paulo, AMGH Editora Ltda, 2011.

OKUDA, Soya et. al. **KIKS Extended Team Description for RoboCup 2014**. Disponível em: http://wiki.robocup.org/images/0/02/Small_Size_League_-_RoboCup_2014_-_ETDP_KIKS.pdf. Acesso em 18 fev. 2018.

PALADY, Paul. **FMEA Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevenindo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: IMAM, 1997.

ROBOCUP. The Robocup Federation. **Página oficial da competição RoboCup**. Disponível em: <http://www.robocup.org/>. Acesso em 18 ago. 2017

ROBOFEI Centro Universitário da FEI. **Página do time de futebol de robôs da FEI**. Disponível em: <http://www.fei.edu.br/robo/>. Acesso em 17 ago. 2017.

RODRIGUES JR. Fernando. et al. **RoboFEI 2015 Team Description Paper**. Disponível em: http://wiki.robocup.org/images/c/cc/Small_Size_League_-_RoboCup_2015_-_TDP_RoboFEI.pdf. Acesso em 19 ago. 2017.

RULES Small Size League. **Página das regras da SSL**. Disponível em: http://wiki.robocup.org/Small_Size_League/Rules. Acesso em 17 ago. 2017.

RYLL, Andre. et al. **TIGERS Mannheim (Team Interacting and Game Evolving Robots) Extended Team Description for RoboCup 2015**. Disponível em: http://wiki.robocup.org/images/9/9e/Small_Size_League_-_RoboCup_2015_-_ETDP_Tigers_Mannheim.pdf >. Acesso em 20 ago. 2017.

SEIXAS, Eduardo S. Artigo Científico: **Manutenção Centrada em Confiabilidade - Estabelecendo a Política de Manutenção com Base nos Mecanismos de Falha dos Equipamentos**, Reliasoft Brasil, 2010.

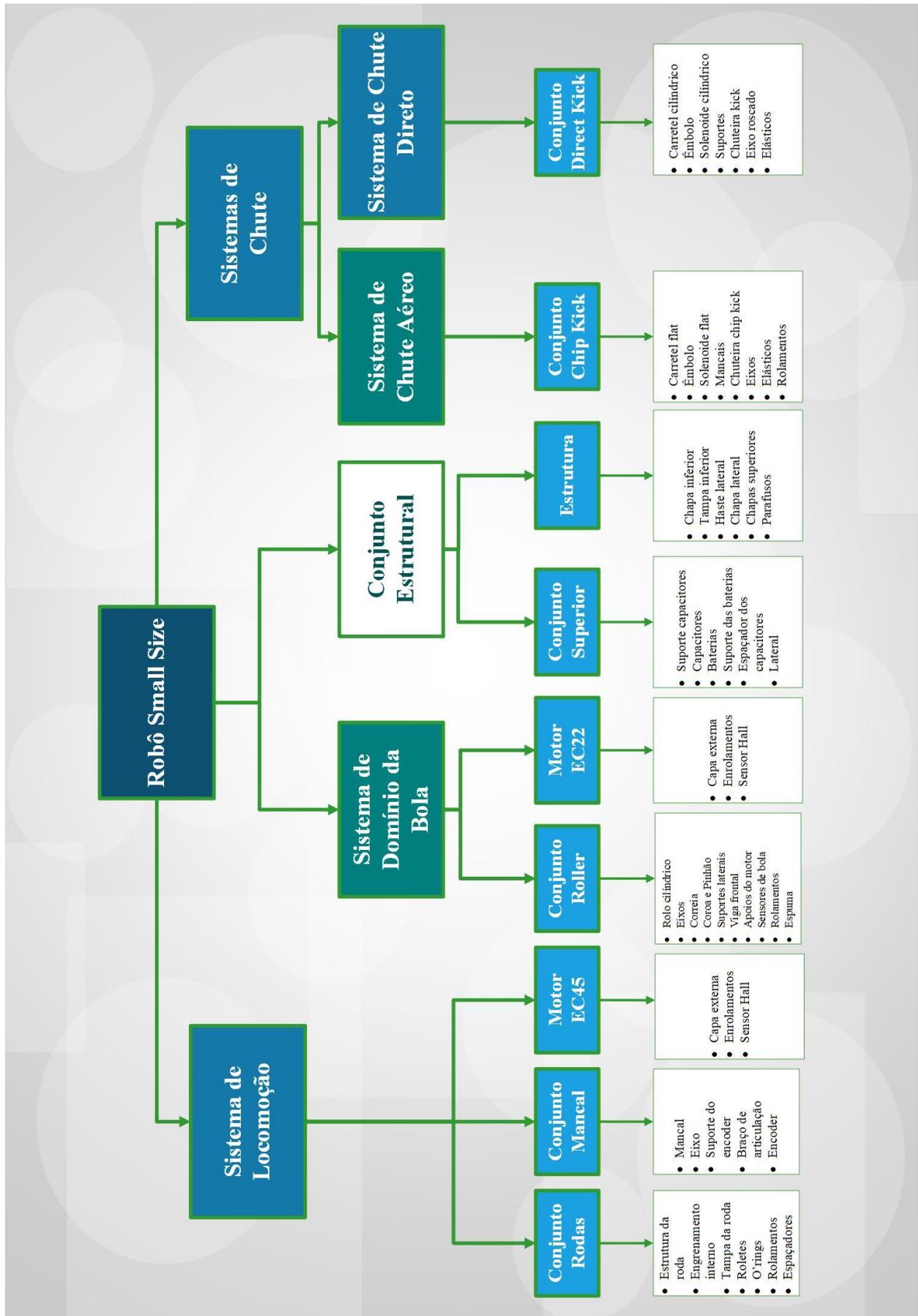
SMALL Size League. **Página oficial da SSL**. Disponível em: http://wiki.robocup.org/wiki/Small_Size_League. Acesso em 17 ago. 2017.

SOUZA, Fábio J. Dissertação de Mestrado: **Melhoria do Pilar “Manutenção Planejada” da TPM Através da Utilização do RCM para Nortear as Estratégias de Manutenção**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

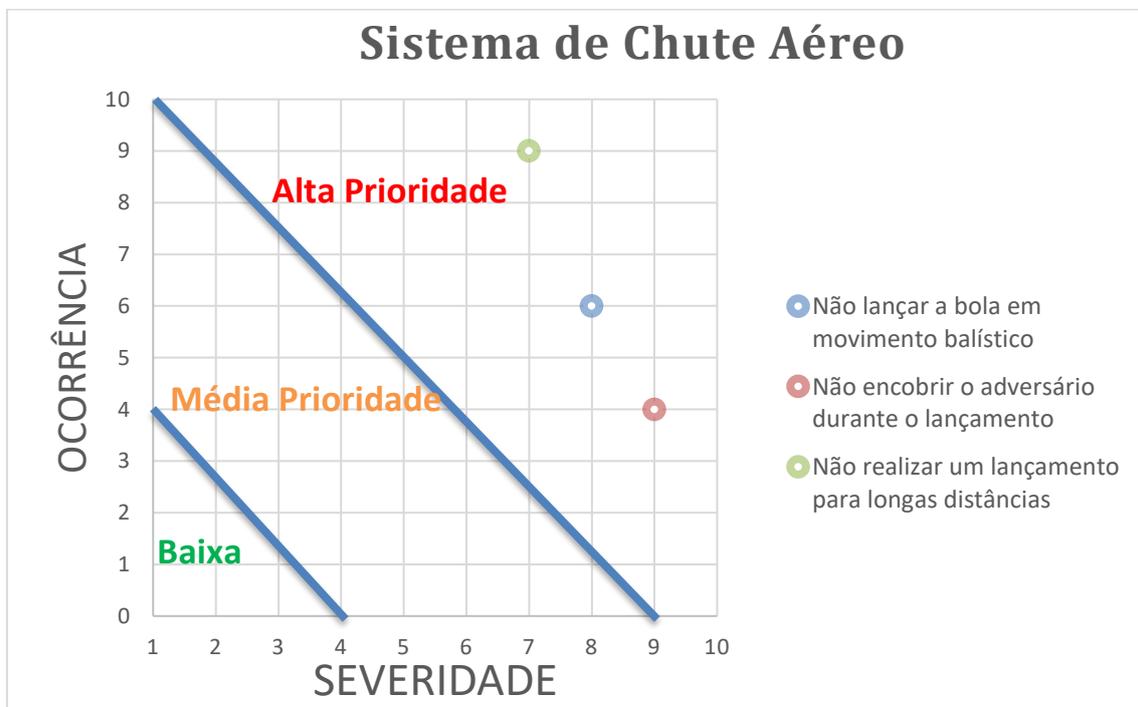
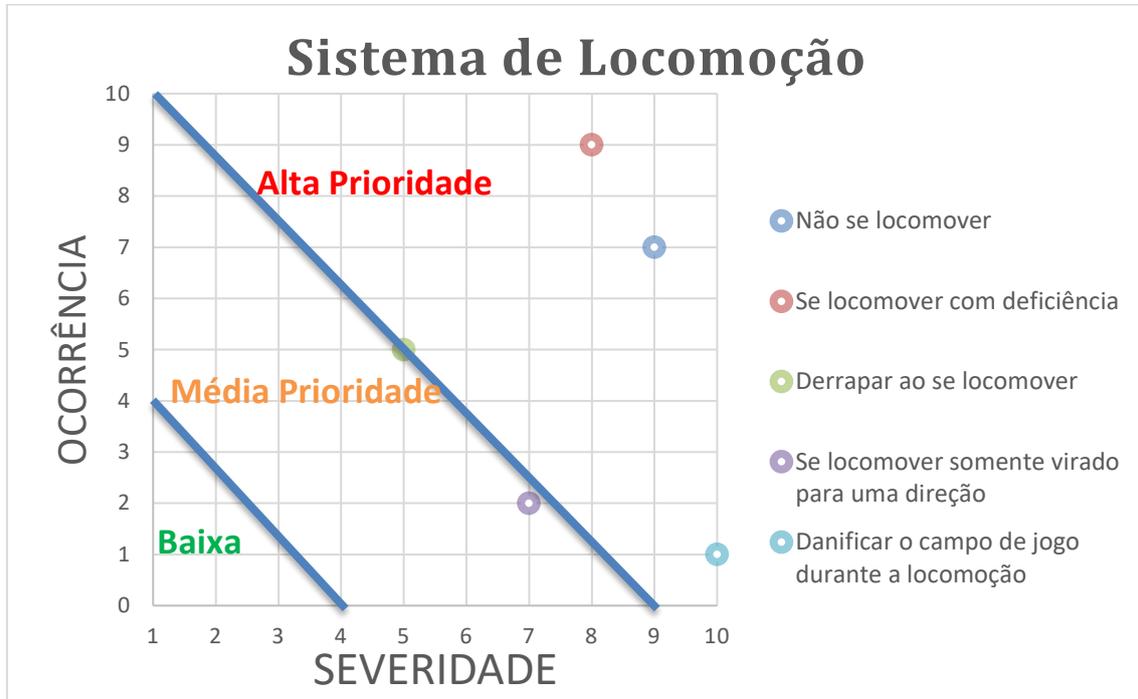
YOSHIMOTO, Takamichi. et al. **OP-AmP 2017 Team Discription Paper**. Disponível em: <http://wiki.robocup.org/File:Robocupssl2017-final9.pdf>. Acesso em 20 ago. 2017.

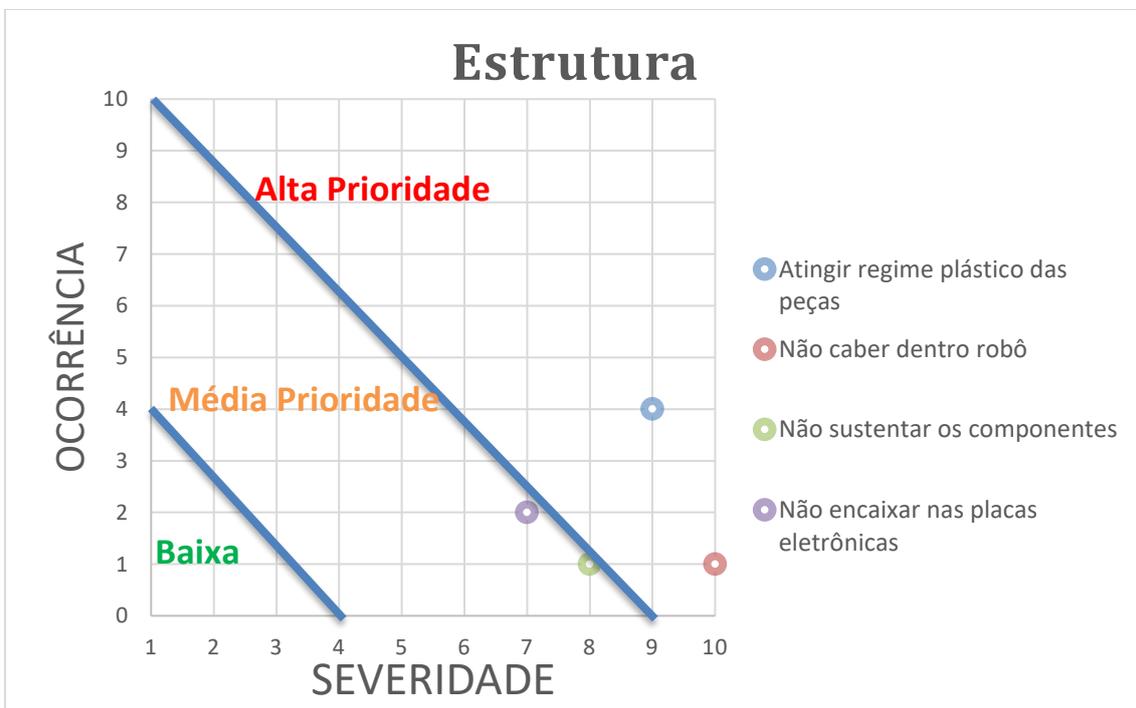
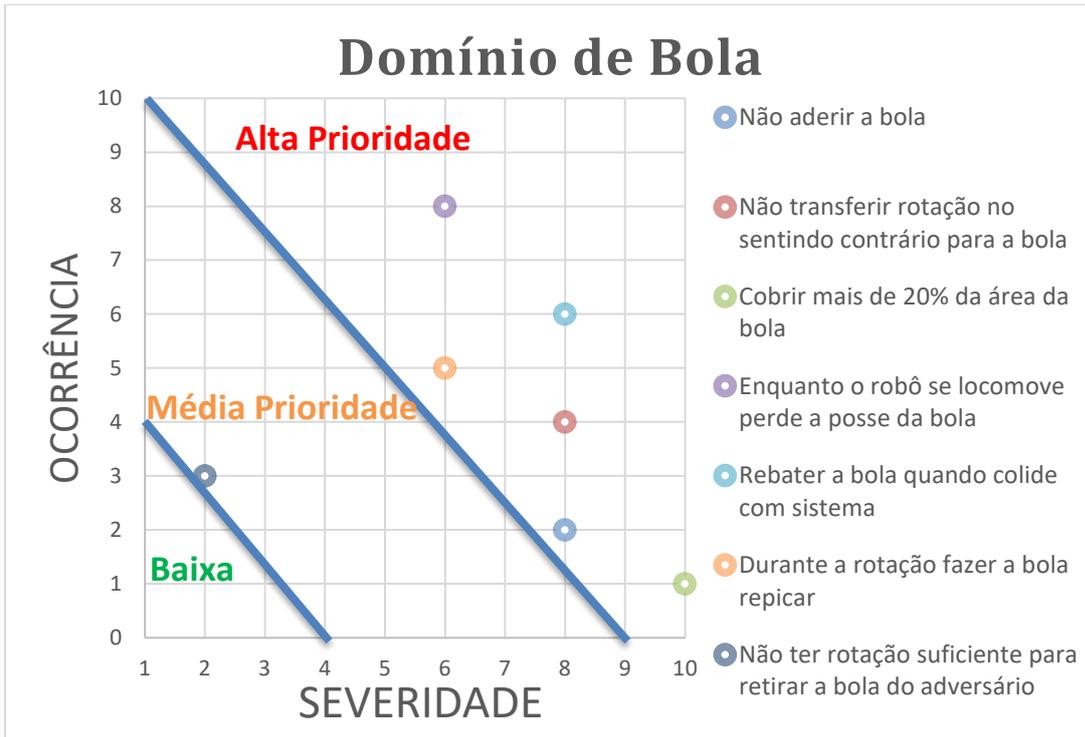
ZHAO, Yue. et al. **ZJUNlict Team Description Paper for RoboCup 2014**. Disponível em: http://wiki.robocup.org/File:Small_Size_League_-_RoboCup_2014_-_TDP_ZJUNlict.pdf. Acesso em 20 ago. 2017.

APÊNDICE A – HIERARQUIZAÇÃO COMPLETA DE TODOS OS SISTEMAS DO ROBOFEI.



APÊNDICE B – GRÁFICO DE ÁREAS DE PRIORIDADE DE TODOS OS SISTEMAS DO ROBOFEL.





APÊNDICE C – PLANILHA FMEA

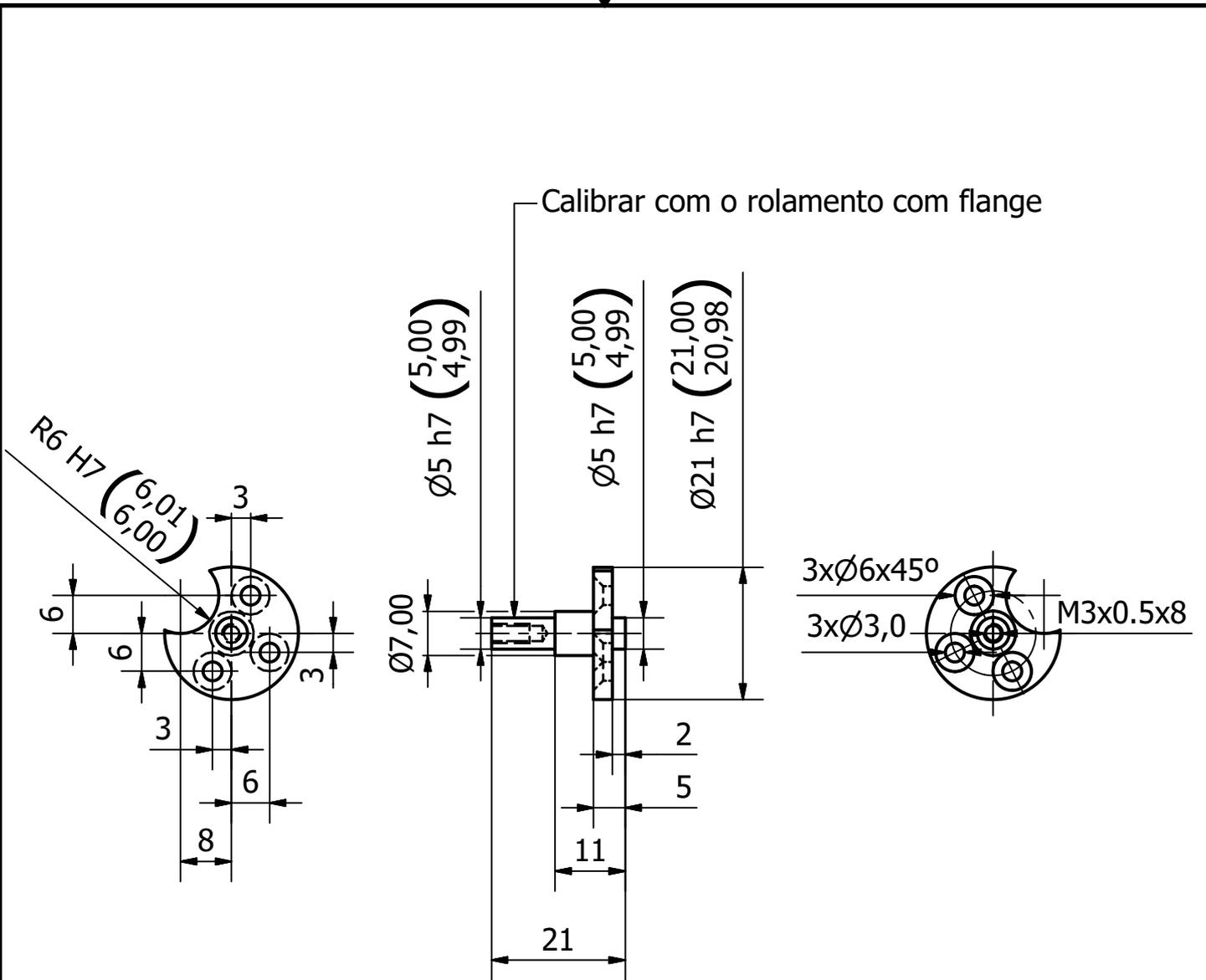
FMEA - Análise de Efeitos e Modos de Falha										
Projeto:	RoboFEI Small Size									
Setor:	Mecânica									
Sistema:	Locomoção									
Conjuntos:	Rodas, Mancal e Motor									
Autor:	Vinicius Medeiros Alves									
Funções	Falhas Funcionais	Efeitos	Modos de falhas - Causas	Controles	S	O	D	RPN	Ações Recomendadas	Soluções com Novo Projeto
Permitir que o robô possa mover em qualquer direção enquanto virado para qualquer orientação.	Não se locomover	O robô não consegue jogar futebol	Motor não funciona	Montagem revisada e Odometria	9	7	2	126	Manutenção Preventiva Alterar projeto do eixo (Ocorrência muito alta)	Alteração no projeto do eixo
			Encoder não está conectado							
			Sem engrenamento							
			Rodas desparafusadas							
	Se locomover com deficiência	Dificulta o robô jogar futebol	Encoder desalinhado	Testes de odometria	8	9	2	144	Manutenções Preditivas e Corretivas (Diminuir a ocorrência)	Projeto de novo mancal e de suporte para não desalinhar o encoder
			Sensor hall do motor danificado							
	Derrapar ao se locomover	Dificulta o robô jogar futebol	O'rings desgastados	Controle de velocidade	5	5	5	125	Revisão do projeto	Outra IC para roda
			Tipo do elastômero dos o'rings							
	Se locomover somente virado para uma direção	Dificulta o robô jogar futebol	Rodas travadas	Testes de funcionalidade	7	2	4	56	Manutenção Preventiva	Sem alteração
	Danificar o campo de jogo durante a locomoção	Infringe regra da competição	Sem o'rings	Escolha adequada dos o'rings	10	1	1	10	Ocorrências muito baixas	Sem alteração
Parafuso solto na chapa inferior										
O'rings de má qualidade										

FMEA - Análise de Efeitos e Modos de Falha										
Projeto:	RoboFEI Small Size									
Setor:	Mecânica									
Sistema:	Chute Direto									
Conjuntos:	Direct Kick									
Autor:	Vinicius Medeiros Alves									
Funções	Falhas Funcionais	Efeitos	Modos de Falhas - Causas	Controles	S	O	D	RPN	Ações Recomendadas	Soluções com Novo Projeto
Chutar a bola em linha reta sempre em contato ao solo.	Não chutar a bola	Não faz gols e passes	Elástico arrebitado	Testes de funcionalidade	9	7	2	126	Revisão do Projeto Manutenção Preventiva e Corretiva (Diminuir a ocorrência é prioridade)	Substituição do elastico. Dimensionamento da mola, utilização da cola trava rosca
			Êmbolo travado dentro do carretel							
			Sensor de bola desalinhado							
			Eixo do êmbolo desrosqueado							
			Chuteira desparafusada							
	Chutar a bola mais do que 6,5 m/s	Infringe regras da competição	Solenóide maior do que necessário	Calibração do chute por meio de testes	10	5	2	100	Revisão do Projeto (Evitar os dois modos de falhas)	Reedimensionamento dos solenóides
			Não regular tempo de descarga dos capacitores							
	Não chutar a bola em linha reta	Dificulta executar as jogadas calculadas pelo software	Folga entre a chuteira e o eixo roscado	Revisão da montagem Inspeção visual	7	7	2	98	Revisão do Projeto Manutenção Corretiva	Implementação do chute direcional
			Chuteira mal parafusada							
	Fazer a bola quicar durante o trajeto	Não faz gols	Chuteira impactar fora do centro da bola	Inspeção visual	7	5	2	70	Revisão do Projeto (Evitar os dois modos de falhas)	Nova altura do sistema de chute
Dificulta o robô aliado a receber o passe		Bola travada embaixo do roller								

FMEA - Análise de Efeitos e Modos de Falha										
Projeto:	RoboFEI Small Size									
Setor:	Mecânica									
Sistema:	Chute Aéreo									
Conjuntos:	Chip Kick									
Autor:	Vinícius Medeiros Alves									
Funções	Falhas Funcionais	Efeitos	Modos de Falhas - Causas	Controles	S	O	D	RPN	Ações Recomendadas	
Lançar a bola em um movimento balístico	Não lançar a bola em movimento balístico	Não afasta a bola da zona defensiva	Rolamentos estourados	Teste de funcionalidade na bancada	8	6	2	96	Manutenção Preventiva	
			Elásticos arrebentados							
		Não faz passes aéreos	Êmbolo travado dentro do carretel							
	Não encobrir o adversário durante o lançamento	Dificulta realizar as jogadas	Sensor desalinhado		Calibração do chute durante os testes	9	4	2	72	Manutenção Corretiva e Revisão do Projeto
			Bola travada embaixo do roller	Bola sem contato com a chuteira						
	Não realizar um lançamento para longas distâncias	Impossibilita jogadas ofensivas	Força insuficiente		Não tem	7	9	2	126	Revisão do Projeto (Sugestão de IC)
Mal dimensionamento do solenoide										
			Erro de projeto							

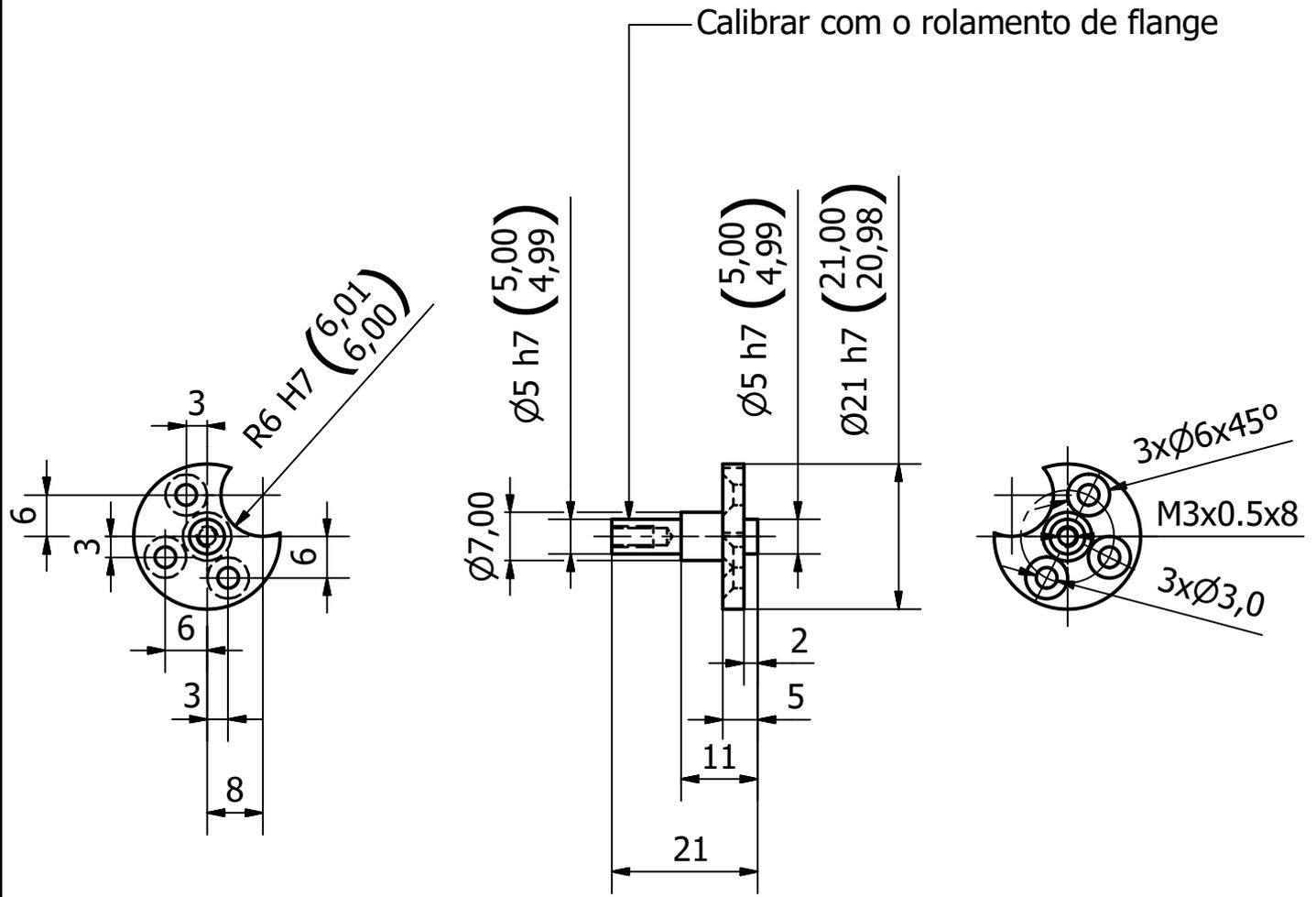
FMEA - Análise de Efeitos e Modos de Falha									
Projeto:	RoboFEI Small Size								
Setor:	Mecânica								
Sistema:	Domínio de Bola								
Conjuntos:	Roller e Motor								
Autor:	Vinícius Medeiros Alves								
Funções	Falhas Funcionais	Efeitos	Modos de Falhas - Causas	Controles	S	O	D	RPN	Ações Recomendadas
Manter aderência na bola permitindo a posse para o robô	Não aderir a bola	Dificulta o robô a receber a bola	Material do roller	Escolha do material do roller	8	2	2	32	Estudo do material da borracha
	Não transferir rotação no sentido contrário para a bola	Não possibilita o robô ter a posse da bola	Motor não funciona	Testes de funcionalidade	8	4	1	32	Não se aplica
			Correia solta						
			Motor desparafusado						
	Coroa desparafusada								
Cobrir mais de 20% da área da bola	Infringe regra da competição	Posição do roller	Inspeção visual	10	1	4	40	Não se aplica	
		Dimensões do roller							
	Enquanto o robô se locomove perde a posse da bola	Dificulta as jogadas	Baixa rotação do roller	Controle de velocidade de movimentação	6	8	2	96	Revisão do Projeto (Já feita IC)
Absorver o impacto da bola	Rebater a bola quando colide com sistema	Não possibilita o robô ter a posse da bola	Sistema de pêndulo simples	Utilização de espuma para amortecer	8	6	2	96	Revisão do Projeto (Já feita IC)
	Durante a rotação fazer a bola repicar	Atrapalha a locomoção	Material do roller	Controle de rotação do roller	6	5	3	90	Revisão do Projeto (Já feita IC)
			Rotação alta do roller						
	Não ter rotação suficiente para retirar a bola do adversário	Bola permanece com o adversário	Baixa rotação do roller	Controle de rotação do roller	2	3	4	24	Utilização maior da potência disponível do motor EC 22
			Relação de transmissão inadequada						

APÊNDICE D – DESENHOS TÉCNICOS



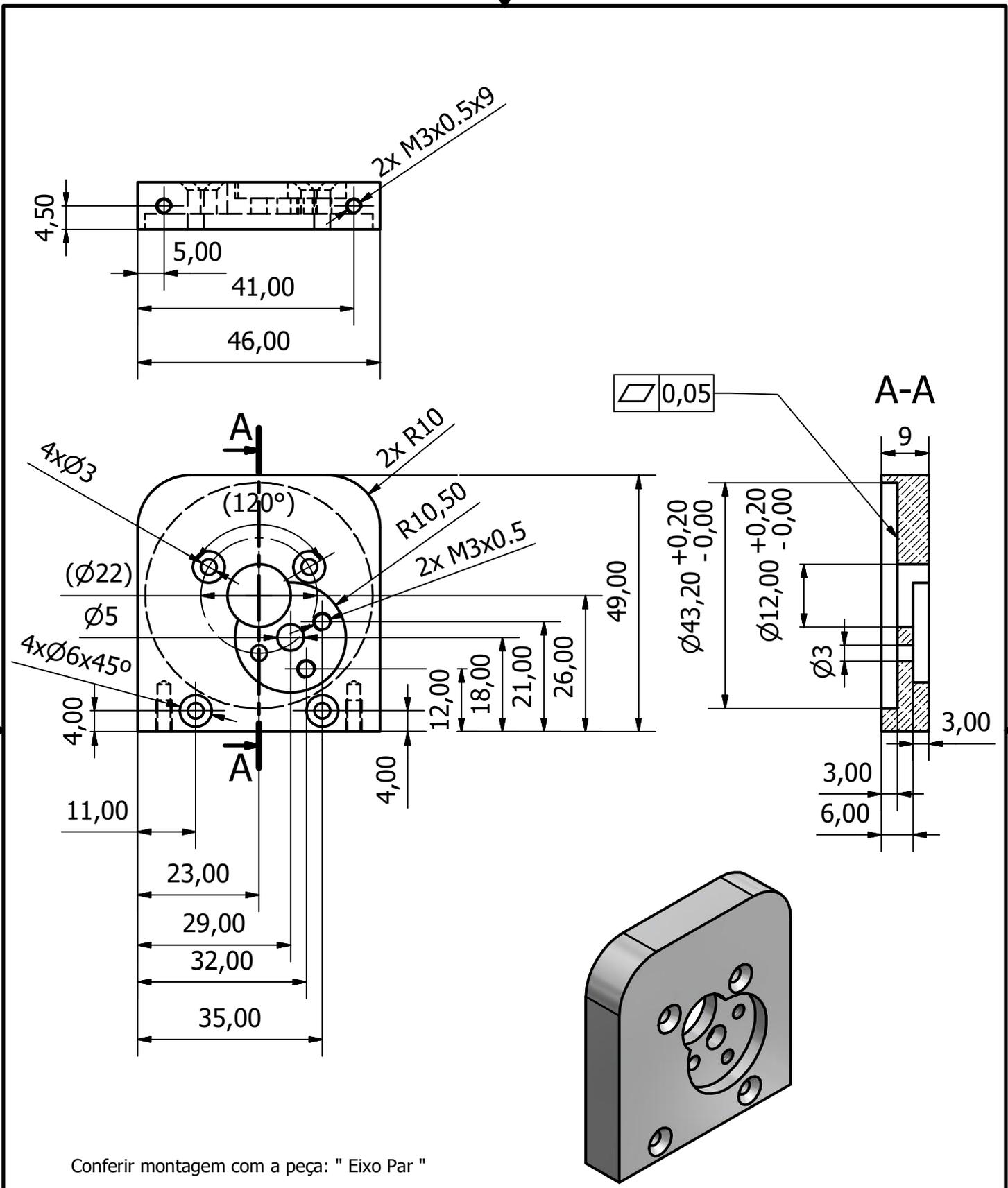
Rev.	Alteração	Data	Responsável
------	-----------	------	-------------

	RoboFEI - Small Size League			
	Título: Eixo Impar		Qty.: 2	
	Diretório: Iniciação Científica	Material: Aço Inox 304	Escala: 1:1	
	Responsável: Vinicius Medeiros	Data: 12/04/18	Papel: A4	
			Vers.: 1	



Rev.	Alteração	Data	Responsável
------	-----------	------	-------------

	RoboFEI - Small Size League			
	Título: Eixo Par		Qty.: 2	
	Diretório: Iniciação Científica	Material: Aço Inox 304	Escala: 1:1	
	Responsável: Vinicius Medeiros	Data: 12/04/18	Papel: A4	
			Vers.: 1	



Rev.	Alteração	Data	Responsável
------	-----------	------	-------------

Robocup - Small Size League				
Nome Peça Mancal Par			Qnt.: 2	
Diretório: Iniciação Científica	Material: Alumínio T6	Papel: A4	Escala: 1:1	
Responsável: Vinícius Medeiros	Data: 12/04/2018		Vers.: 1.1	

