

Michel Frankfurt

Sérgio Rafael Del Giovannino Júnior

Orientador

Oswaldo Horikawa

Relatório do Trabalho de Formatura

Robô escalador de torres de transmissão de eletricidade



São Paulo, 26 de novembro de 2007

1 – Descrição de projeto	3
2 – Cronograma	4
3 – Soluções já existentes	5
4 – Introdução	12
5 – Discussão de estratégias para escalar a torre	14
6 – Soluções propostas	15
6.1 – Braços Escaladores	15
6.2 – Pedal de Bicicleta	18
6.3 – Taturana	20
6.4 – Rodas em V	21
7 – Discussão de Construção da Estratégia Escolhida	22
7.1 – Construção das rodas em V ou bolacha	22
7.2 – Ligação das Rodas	26
7.3 – Braços Estabilizadores	29
7.4 – Acionamento	33
7.5 – Estrutura	36
8 – Matrizes de decisão para escolha da solução	38
8.1 – Ligação das rodas	38
8.2 – Estrutura	39
8.3 – Apoio lateral	40
9 – Construção da torre para testes	41
10 – Detalhamento do Projeto	44
10.1 – Rodas	44
10.2 – Suporte	49
10.3 – Pinças com Molas	52
11 – Construção e Simulação	54
11.1 – Construção Rodas e Suporte das Rodas	54
11.2 – Construção Pinças com Molas	54
11.3 – Construção Motores e Suportes	55
11.4 – Simulação da Passagem pela Travessa	56
12 – Controle Manual	58
12.1 – Aspectos Gerais	58
12.2 – Escolha dos Motores	58
12.3 – Circuito Principal	58
12.4 – Fonte Eletrica	61
12.5 – Controlador	61
13 – Testes e Ensaio	62
14 – Conclusões	63
15 – Anexos	65
15.1 – Diodo Zener	65
16 – Bibliografia	68

1 – Descrição de projeto

O presente projeto tem como objetivo final desenvolver um robô que auxiliará o eletricitista na sua tarefa de manutenção de torres de transmissão de eletricidade. O robô em questão, escala a torre metálica e na altura desejada lança um cabo de pequeno calibre, permitindo a elevação de cordas mais resistentes, carretilhas, andaimes e, inclusive, os eletricitistas. Em vista da dimensão e complexidade do problema, este projeto prevê: 1) caracterização do problema, 2) a elaboração da estratégia básica de funcionamento do robô, 3) projeto e implementação do mecanismo e dos acionamentos elétricos, 4) construção de uma bancada de testes e 5) testes de escalada com controle manual.



Figura 1 – vista inferior de uma torre de transmissão

2 – Cronograma

1º semestre:

Março: Caracterização do problema, delimitando tipos de torres, tipos de construção, etc.

Estudos preliminares de possíveis soluções.

Abril: Análise das soluções, matriz de decisão e escolha da melhor solução.

Elaboração de relatório parcial.

Maio: Desenvolvimentos iniciais do projeto.

Junho: Relatório final e apresentação.

2º semestre:

Julho: Desenvolvimentos finais do projeto.

Agosto: Construção do projeto.

Setembro em diante: testes, melhorias, relatório e apresentação final.

3 – Soluções já existentes

3.1 – Robô que copia lagarto para escalar paredes [1]

Um robô que pode correr em uma parede de maneira estável e sem risco de cair, capaz de andar no teto com uma velocidade de até seis centímetros por segundo foi criado por pesquisadores nos Estados Unidos, inspirado no lagarto gecko, que tem alta capacidade de se fixar em superfícies. O robô utiliza um adesivo de elastômero (polímero semelhante à borracha) de 4 micrômetros de espessura.

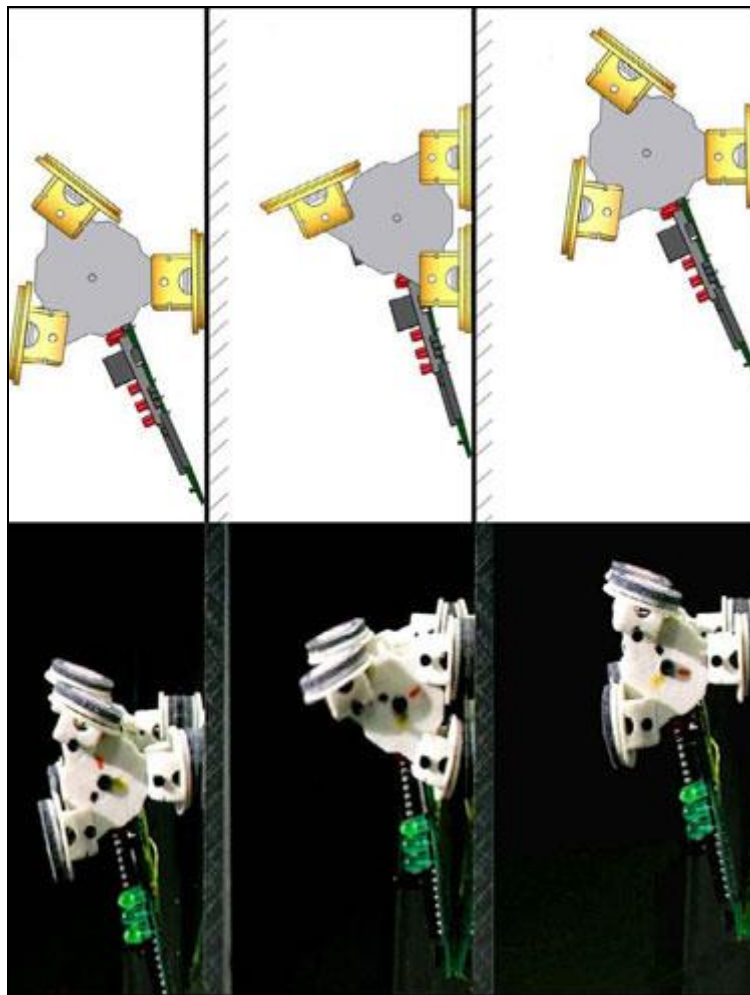


Figura 2 – Imagens do robô lagarto

Segundo Metin Sitti, professor assistente na Universidade Carnegie Mellon, nos EUA, este não é o primeiro equipamento que usa adesivos de fibras para se aderir, porém seu poder de fixação é muito maior.

Além de seus pés aderentes, o robô utiliza duas pernas triangulares em forma de rodas, cada uma com três apoios, como pés, e uma cauda que permite sua maior agilidade em comparação com outros robôs. Não apenas ele pode se mover de forma rápida, mas seu design inovador permite que mude do chão para a parede e desta para o teto com bastante facilidade. Em qualquer momento, pelo menos dois de seus seis “pés” estão em contato com a superfície, assim como a cauda, que é colocada de um modo para estar sempre empurrando a superfície, mesmo quando no teto.

“Ele é bastante compacto e tem grande mobilidade e capacidade de manobras”, diz Mark Cutkosky, professor de engenharia mecânica e co-diretor do Centro de Design na Universidade de Stanford, na Califórnia. “É uma solução prática para escaladas.”

3.2 – Pequenos robôs militares: Packbot [2]

O Packbot é outro pequeno robô que opera sobre esteiras (bandas de rodagem), pesa cerca de 18 kg. O Packbot é portátil e projetado para caber nas novas mochilas padronizadas do Exército dos EUA.



Figura 3 – Packbot em funcionamento

Controlado por um processador Pentium projetado especialmente para resistir a tratamento bruto, o chassi do Packbot tem um sistema GPS, um compasso

eletrônico e sensores de temperatura embutidos. O Packbot pode se mover a mais de 13 km/h, ser montado em minutos e resistir a uma queda de 1,8 m sobre o concreto - o equivalente à força de 400 G .

Os soldados dos EUA usam essa rigidez como vantagem, jogando o Packbot através de janelas de prédios e então usando-o para procurar combatentes inimigos escondidos. Mesmo que o Packbot aterrisse de ponta-cabeça, ele pode se endireitar usando poderosos estribos, que também podem ajudar a escalar obstáculos.

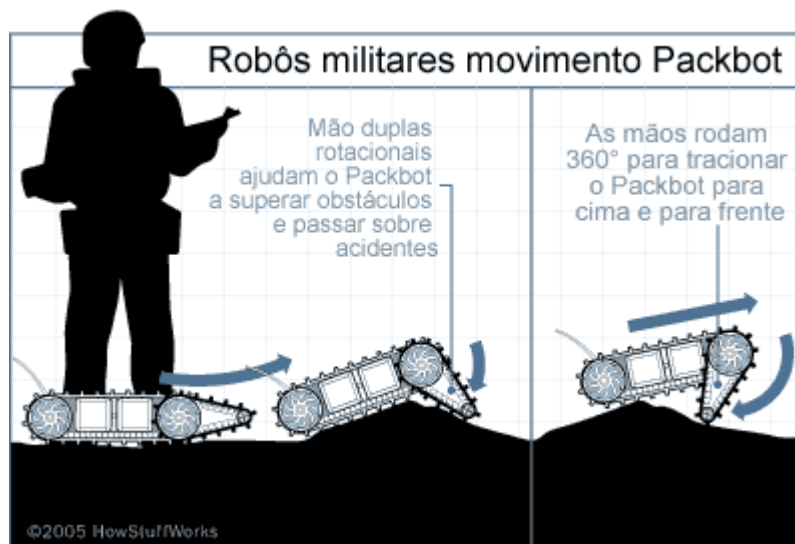


Figura 4 – Movimentação do Packbot

O Packbot pode fotografar em panorâmica e inclinar, também é usado para desarmar ou detonar seguramente explosivos perigosos.

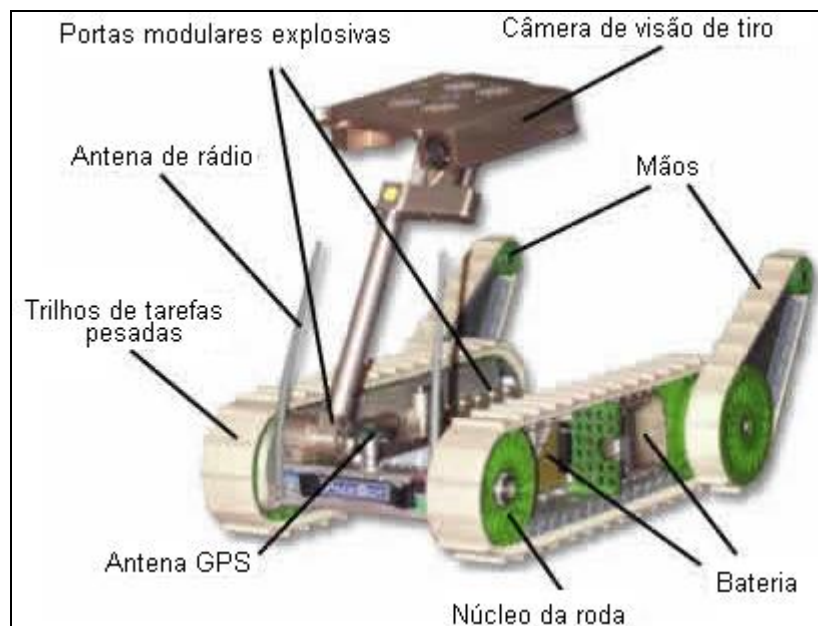


Figura 5 – Packbot

3.3 – Robô para instalação de esferas sinalizadoras [3]

Um bom exemplo de desenvolvimento de tecnologias para reduzir os riscos a que certos profissionais são expostos no exercício de suas funções tipo de iniciativa partiu de pesquisadores da UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), que desenvolveram um robô semi-autônomo para instalar e remover esferas de sinalização de linhas de transmissão de energia elétrica.



Figura 6 – Robô desenvolvido para instalação das esferas de segurança

Tradicionalmente, esse tipo de trabalho envolve riscos elevados, pois é realizado com helicópteros que se aproximam das linhas de transmissão (o piloto do helicóptero deve manter a aeronave durante alguns minutos a poucos centímetros da linha de transmissão) para que um eletricista pendurado do lado de fora da aeronave alcance o cabo e instale os sinalizadores. Já houve casos de morte por conta disso.

Com o robô desenvolvido, o uso do helicóptero é dispensado e os riscos na instalação dos sinalizadores são reduzidos consideravelmente, pois o sistema de instalação possibilitado com o uso do robô permite que com um simples procedimento comumente realizado por eletricistas, que é a escalada das torres de transmissão em condições ideais de segurança, seja utilizado para evitar o perigoso sistema de instalação com helicópteros.

Após instalado no cabo, na proximidade da torre, o equipamento, que é controlado a distância, por sinais de rádio, desloca-se pelo cabo até a posição considerada ideal de instalação do sinalizador. Ali, após um comando dado por controle remoto, o equipamento passa a fixar autonomamente o sinalizador no cabo. Após a fixação completa, emite um sinal para alertar o operador de que o robô já pode voltar ao ponto de início de sua trajetória para ser retirado. O equipamento pode também desinstalar as esferas.

3.4 – Automatic Overhead Power Transmission Line Damage Detector [4]

Desenvolvido pela Sato Kensetsu Kogyo, captura os danos nas linhas como sinais elétricos utilizando espiras e grava os dados em fitas K7 para posterior análise. Simultaneamente ele obtém imagens da linha para inspeção visual.



Figura 7 – Robô para inspeção

3.5 – Projeto desenvolvido na universidade de Utah [4]

Nesse estudo, os autores investigam o procedimento de inspeção de linhas de transmissão de energia utilizando helicóptero tripulado e, ao fim, apresentam como evolução à solução existente o uso de um helicóptero autônomo.



Figura 8 – Robô autônomo – vista externa



Figura 9 – Robô autônomo – vista interna

3.6 – Elevadores da CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz) [4]

A CPFL criou uma plataforma de elevação com técnicas robóticas e de automação que proporciona maior segurança e agilidade ao trabalho de eletricitistas que operam em redes de distribuição. O sistema é acionado remotamente e deve substituir a escada, poupando os profissionais de esforços repetitivos.



Figura 10 – Unidade móvel para automação



Figura 11 – Manutenção com o equipamento

A empresa já testou com sucesso o primeiro protótipo. Os ensaios preliminares foram feitos dentro da própria CPFL e tiveram a participação efetiva dos eletricitistas,

que apresentaram propostas para melhorar o desempenho do equipamento. “Além da elevação, eles sugeriram que o sistema fosse giratório e oferecesse a possibilidade de inclinação”, afirma Ronaldo Roncolato, gerente da Divisão de Engenharia de Manutenção e coordenador do projeto.

“A receptividade entre os eletricitistas foi muito boa”, garante Roncolato. “Quando eles tiram a escada do veículo, a erguem e a posicionam, estão executando tarefas que não têm relação com suas atividades. Eles percebem que o sistema vai facilitar o trabalho deles”, explica.

4 – Introdução

O projeto tem como motivação auxiliar o eletricitista na tarefa de manutenção de torres de transmissão de eletricidade, isso é justificado porque o eletricitista necessita escalar a torre de transmissão com todo o equipamento de manutenção, que torna o seu trabalho bastante complicado e arriscado. O robô fará com que o eletricitista corra menos risco de acidentes (queda ou choque elétrico) além de facilitar seu trabalho na escalada. [4]



Figura 12 – manutenção de uma torre

Para a familiarização com alguns termos que serão comumente utilizados ao longo do presente projeto, encontram-se a seguir algumas breves explicações desses termos e uma figura ilustrativa:

Montante: é cada uma das quatro bases da torre de transmissão de energia

Travessa: é cada uma das barras que ligam uma montante a outra.

Pino para escalada: é por onde normalmente o eletricitista escala a torre quando não escala por escada.

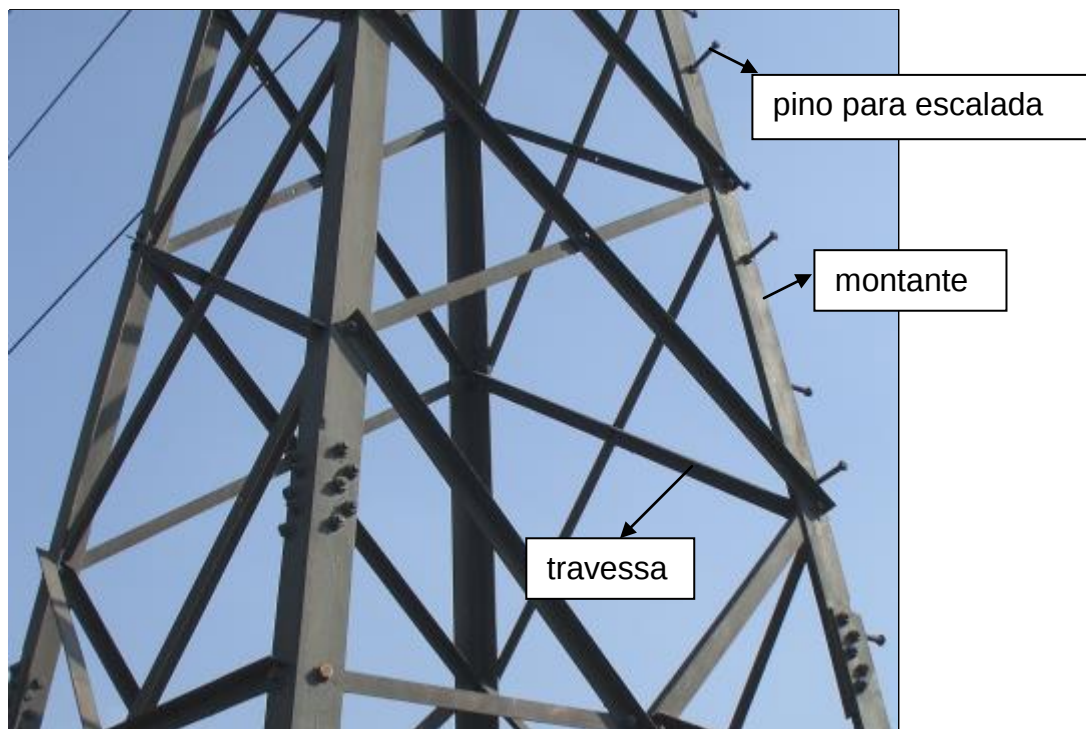


Figura 13 – ilustração explicativa de alguns termos

5 – Discussão de estratégias para escalar a torre

Após a análise de algumas torres de transmissão, chegou-se a conclusão de que há 5 maneiras possíveis para uma robô escalar a torre:

- 1) através das intersecções das travessas
- 2) através dos pinos que já são utilizados pelos eletricitistas escalarem
- 3) através da escalada por dentro das bases
- 4) através da escalada por fora das bases passando por cima dos obstáculos (travessas)
- 5) através da escalada por fora das bases passando entre os obstáculos

6 – Soluções propostas

6.1 – Braços Escaladores

Resumo: esta foi a primeira solução discutida pelo grupo de forma a tentar solucionar o problema. Ela basicamente envolveria a construção de um robô com braços articulados que seriam os responsáveis pela elevação do robô na torre.

Como pode ser visto na figura 4, o robô seria construído com um corpo central, que acoplaria os braços e onde estariam os motores e articulações. Dois braços cilíndricos com a ponta externa encurvada na direção tangencial e garras nas extremidades. Os braços, para diminuir o tamanho do robô, seriam vazados e constituídos de cilindros internos vazados de forma a poder aumentar ou diminuir o alcance da garra.

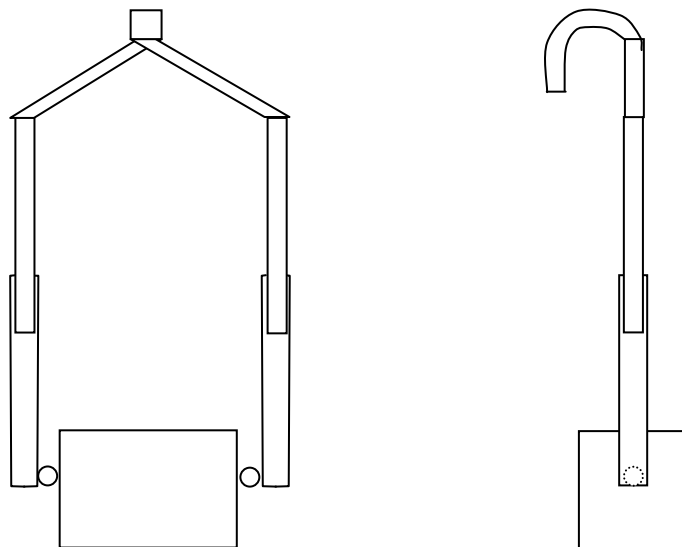


Figura14 – solução robô de braços escaladores

Solução: o robô escalaria a torre pelo seu eixo principal, como pode ser visto na figura 5, a seguir. Suas garras se prenderiam aos pontos de intersecção (P1 até P2, P2 até P3...) das travessas que se cruzam ao longo do eixo principal da torre.

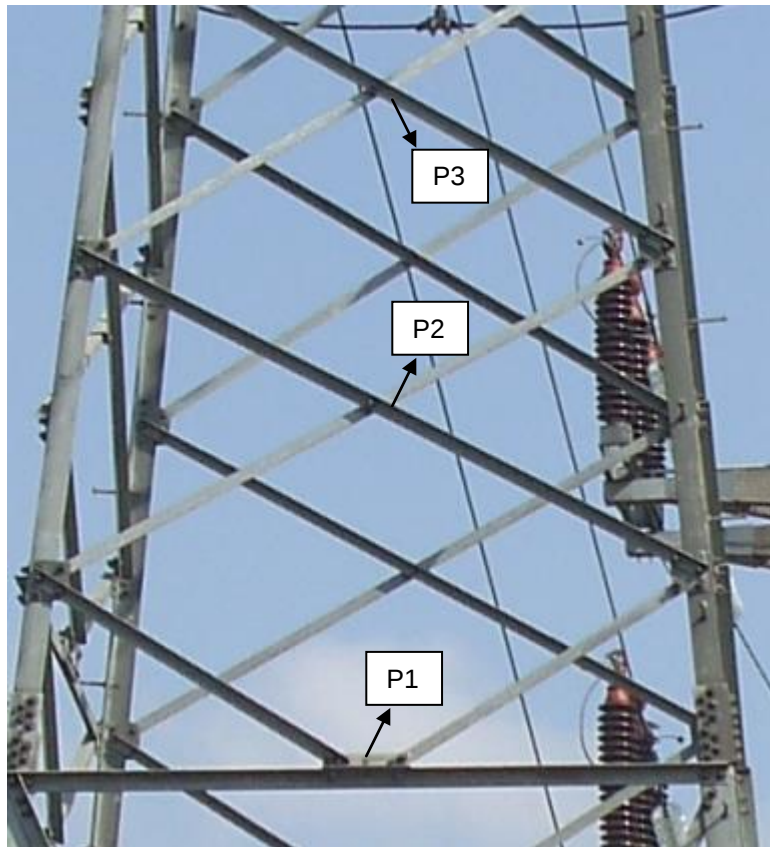


Figura 15 – visão do caminho a ser percorrido pelo robô de braços escaladores

Problemas: a desistência desta solução se deve ao fato de o robô poder acabar ficando extremamente grande e pesado devido à distância entre as travessas que se interceptam, já que os braços precisariam alcançar grandes distâncias, e seria necessária uma estrutura razoavelmente grande para poder controlar a movimentação do robô. Desta forma a solução ficaria cara e principalmente de uso complexo (deslocamento do robô, montagem e desmontagem, etc.)



Figura 16 - Função feita pelo eletrícista que será substituída pelo robô

6.2 – Pedal de Bicicleta

Resumo: o pedal de bicicleta foi a segunda solução proposta e discutida pelo grupo. Sua principal idéia é a de uso de dois paralelepípedos magneticamente carregados que devido a uma ligação entre eles sejam capazes de executar um movimento de caminhada. [5] [6]

Como pode ser visto na figura 7, o pedal de bicicleta tem uma estrutura interna que articula os dois “pés. Essa articulação compreenderia o motor e daria a estabilidade à “caminhada” até o topo.

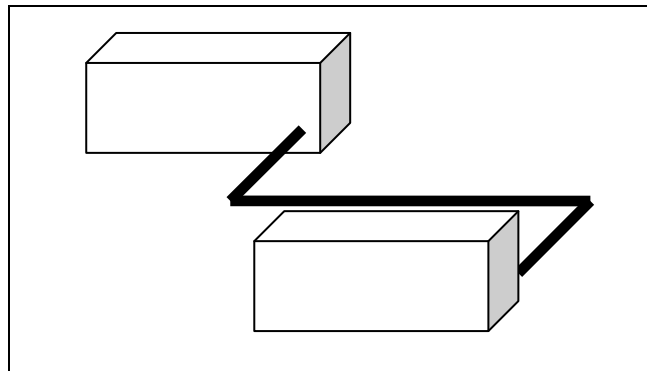


Figura 17 – robô pedal de bicicleta

Solução: o robô subiria pela parte externa da torre onde, pela sua capacidade de levantar o pé, conseguiria passar pelas obstruções (vigas, parafusos e porcas – figura 8).



Figura 18 – caminho a ser percorrido pelo pedal

Problemas: devido à magnetização do pé seria necessária uma força extremamente grande no motor para poder ocorrer o descolamento entre o pé e a estrutura para a realização dos passos.

6.3 – Taturana

Resumo: esta solução foi discutida e é bastante semelhante à solução que foi efetivamente escolhida para solucionar o problema. Basicamente como pode ser visto na figura 9, o robô seria constituído por duas rodas acopladas ligadas por uma roldana magnetizada. [7]

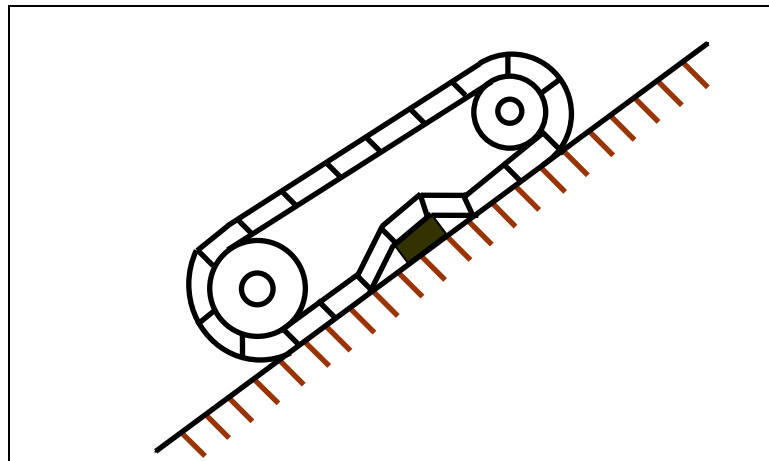


Figura 19 – robô taturana

Solução: o robô subiria por um pilar e com as duas rodas apoiadas na mesma direção. Desta forma, ao encontrar um obstáculo (seja porca ou parafuso) ele não encontraria problema de estabilidade, pois a roldana se adaptaria ao novo formato da superfície.

Problemas: o primeiro problema encontrado foi na construção da roldana (provavelmente teria um custo extremamente alto e seria de difícil implementação) e o segundo problema seria na efetiva utilização do projeto, pois o robô não conseguiria passar por uma estrutura de altura grande (como por exemplo, a travessa).

6.4 – Rodas em V [5] [6] [8] [12]

Resumo: esta foi a solução encontrada para a efetiva solução do problema. Ela seria constituída por duas rodas acopladas que passariam entre as vigas. O projeto seria relativamente pequeno e de modo que seu transporte será fácil, seu preço barato e sua efetividade grande.

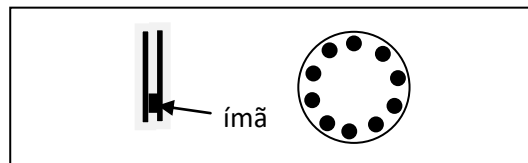


Figura 20 – Robô com rodas em V

Solução: como pode ser visto na figura 10 acima, o robô teria duas rodas em V magnetizadas por ímãs de terras raras, e subiria pela quina da montante através do espaço entre as travessas. Desta forma, com duas rodas, o robô teria bastante estabilidade quando uma das rodas estiver passando por um obstáculo.

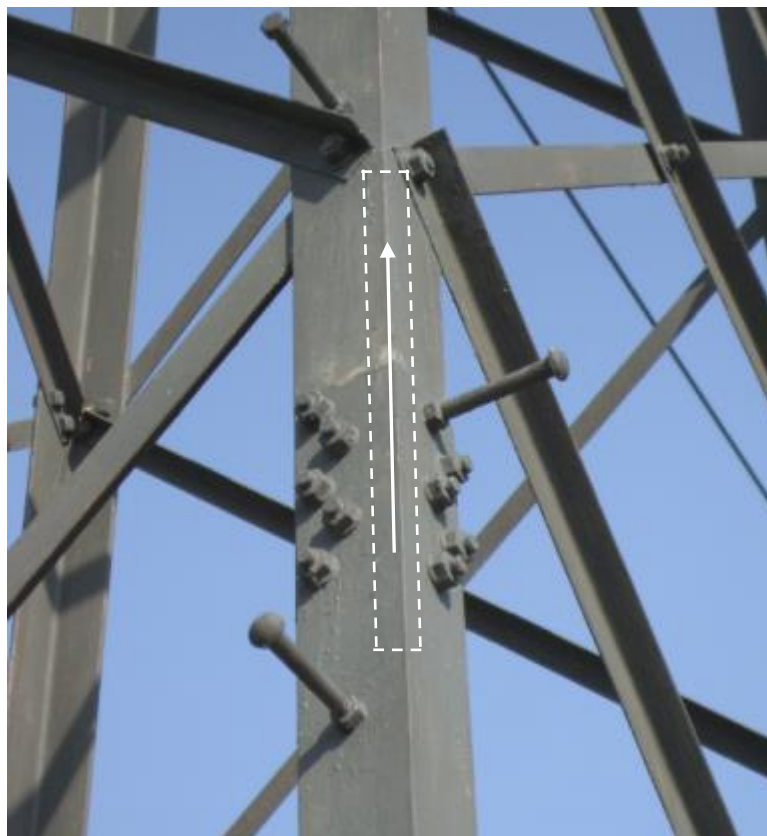


Figura 21 – espaço por onde o robô com rodas magnetizadas irá passar

7 – Discussão de Construção da Estratégia Escolhida [12]

7.1 – Construção das rodas em V ou bolacha

Colocação dos ímãs

Consiste de uma roda feita de aço, usinada na forma da torre de transmissão a ser escalada, furada para a passagem de eixos.

Ímãs por fora da roda: nesta solução, os ímãs ficariam por fora das rodas, mas devido aos princípios magnéticos, o circuito magnético na roda estaria curto-circuitado. Como podemos ver abaixo, as linhas de campo magnéticos têm muito mais dificuldades de se propagar pelo ar do que pelo metal.

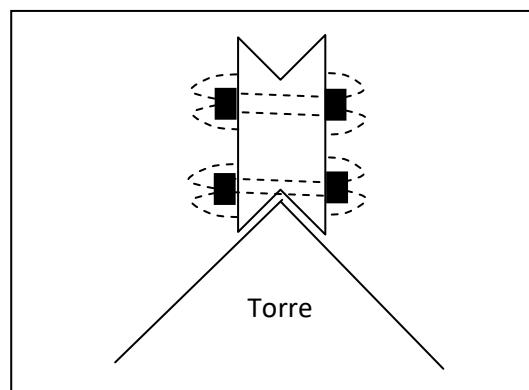


Figura 22 – Ímãs por fora da roda

Ímãs por dentro da roda: nesta solução, os ímãs ficariam por dentro das rodas e o circuito magnético estaria aberto, como pode ser observado na figura abaixo. Em uma das placas estaríamos com o pólo norte e conseqüentemente na outra, com o pólo sul. Ao aproximarmos o circuito de um material ferro-magnético (torre) e conseqüentemente encostarmos um no outro, estaremos fechando o circuito e tendo o máximo de atração.

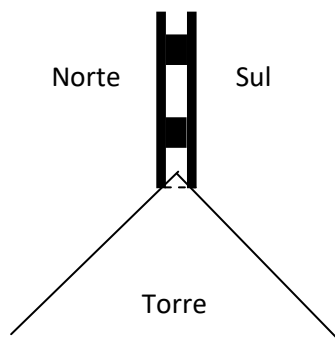


Figura 23 – Ímãs por dentro da roda

Experimentos feitos

Para estudarmos os efeitos magnéticos dos ímãs que serão utilizados, fizemos dois tipos de experimentos, cujos resultados foram usados para tomada de decisões no projeto: [5] [6] [12]

Experimento 1: utilizando duas placas paralelas com ímãs no meio, aproximamos o conjunto de uma placa de metal. O conjunto 1 tinha maior largura que o conjunto 2, e verificamos que a força magnética do conjunto 2 era maior que a do conjunto 1, e como resultado decidimos utilizar uma roda em formato de anel e não inteiriça.

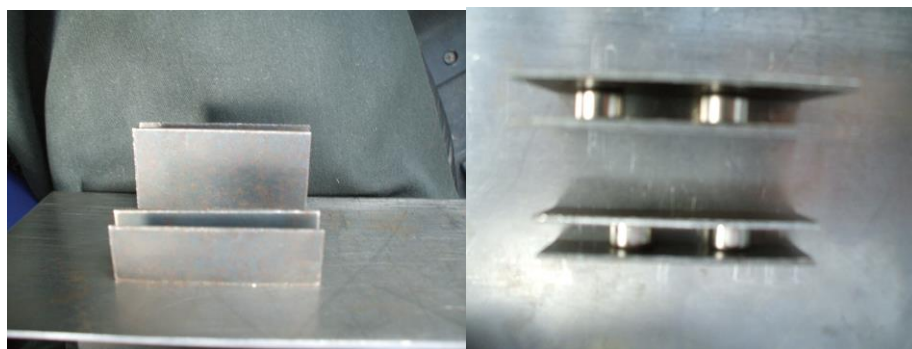


Figura 24 – experimento 1

Experimento 2: na primeira parte do experimento, utilizamos três placas paralelas com ímãs no meio (com a polaridade de acordo com a figura abaixo), na

segunda parte do experimento, utilizamos duas placas com uma camada dupla de ímãs, e verificamos que a primeira construção forneceu maior força que a segunda.



Figura 25 – experimento 2

Estrutura da roda [9] [10] [11]

- a) **Roda de placas de metal maciça:** esta solução de roda consiste de duas placas de metal, com os ímãs encostados internamente. Esta solução foi descartada devido ao fato de não haver necessidade da utilização de rodas inteiriças, além do fato de diminuir o fluxo magnético entre a torre e a roda.

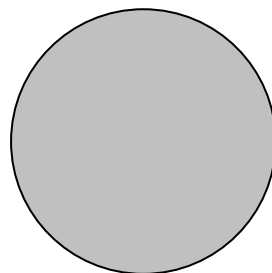


Figura 26 – roda inteiriça

Vantagem: simplicidade.

Desvantagens: excesso de área de fluxo magnético e excesso de peso.

b) Roda de placas em forma de anel: esta solução de roda consiste de dois anéis furados com a largura da parte que sobra com o formato dos ímãs que conectam as placas. Nessa solução a parte interior dos anéis seria constituída de material leve (acrílico ou plástico) de forma a deixar a estrutura mais leve. Os ímãs seriam conectados aos furos dos anéis por ajuste forçado para não poderem deslizar.

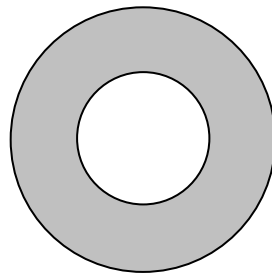


Figura 27 – roda anelar

Vantagens: mais leve, construção de dificuldade média.

Desvantagens: necessidade de grande precisão na construção (furos), e risco de ocorrer danos à estrutura durante a construção devido a sua fragilidade.

c) Roda de placas em forma de anel com casulos: esta solução de roda consiste de dois anéis com casulos onde ficarão alojados os ímãs. Nessa solução a parte interior dos anéis seria constituída de material leve (acrílico ou plástico) de forma a deixar a estrutura mais leve. A estrutura de casulos pode evitar danos na construção.

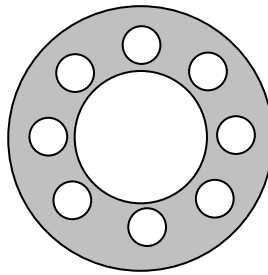


Figura 28 – roda anelar com casulos

Vantagens: mais leve, não necessita de ajuste forçado.

Desvantagem: construção mais difícil.

7.2 – Ligação das Rodas [8] [10]

a) Correia Externa: seria uma correia em V com uma boa largura que ligaria a roda dianteira à traseira.

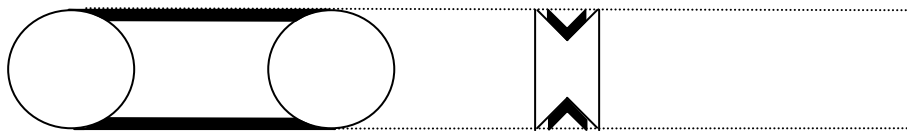


Figura 29 – Vista lateral e frontal da ligação por correia externa

Vantagens: simples implementação, grande superfície de contato.

Desvantagens: correia em contato com a superfície da torre gerando uma distância entre a roda magnetizada e a torre. Teria de construir uma correia no formato da roda, difícil construção.

b) Dois eixos ligados por correia: um lado dos dois eixos das rodas seria colocado uma correia e do outro lado os motores se ligariam ao eixo também por correia.

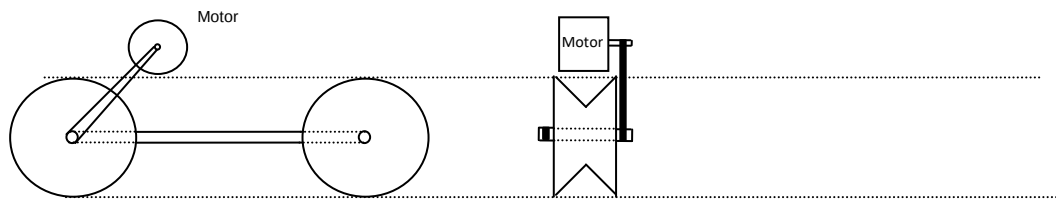


Figura 30 – Vista lateral e frontal dos eixos ligados por correia

Vantagens: transmissão não fica em contato com a superfície como no item anterior.
Simplicidade de construção.

Desvantagens: menos superfície de atrito, limitação do tamanho dos braços estabilizadores.

c) Uma roda livre: uma roda, preferenciamente a traseira para não haver atuação do momento sobre o carro, ficaria livre apenas e a outra seria acionada pelo motor por correia.

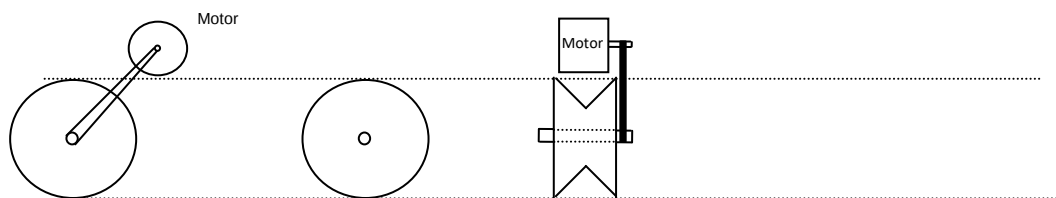


Figura 31 – Vista lateral e frontal dos eixos livres

Vantagens: transmissão não fica em contato com a superfície como no item anterior.
Simplicidade de construção.

Desvantagens: menos superfície de atrito.

d) Dois eixos ligados por correia dentada: seria a mesma solução do item b) e c), porém neste caso, os eixos seriam ligados por uma correia dentada.

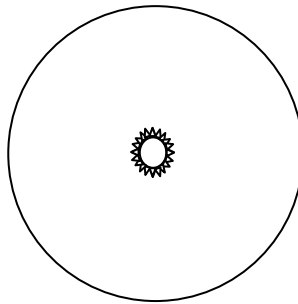


Figura 32– Vista lateral da roda com eixo ligado por correia dentada

Vantagens: acionamento do motor garantido sem escorregamento, maior possibilidade de colocação do motor, transmissão não fica em contato com a torre.

Desvantagens: caro, difícil usinagem e construção do eixo.

7.3 – Braços Estabilizadores [8] [10]

Os braços estabilizadores são uma solução para evitar a possibilidade de desestabilização lateral do robô escalador. Essa instabilidade pode ser devida às imperfeições da superfície da torre. Como podemos analisar, a torre não é uma estrutura totalmente vertical, portanto, atua sobre o robô a força peso causando um momento que pode desencadear no seu desequilíbrio. Na figura abaixo, podemos ver a análise.

Para solucionar esse problema, temos as soluções descritas abaixo.

Soluções passivas:

a) Roda telescópica: seria um braço com um cotovelo e uma roda na ponta. O braço conectado a roda seria do tipo telescópico e haveria um braço ligado ao robô.



Figura 33 – Vistas do braço estabilizador tipo roda

Vantagens: pouco atrito, fácil construção.

Desvantagens: pouco estável, a roda pode não conseguir vencer barreiras com ângulo de 90.

b) Esqui telescópico: seria a mesma montagem da roda, porém ao invés de termos uma roda na ponta, teríamos um esqui com a ponta bastante fletida.

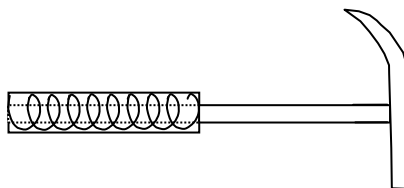


Figura 34 – Vista do braço estabilizador tipo esqui

Vantagens: garantia de passagem sobre qualquer barreira. Maior estabilidade.

Desvantagens: atrito elevado, construção difícil.

– Estudo de estabilidade das soluções passivas

a) Utilizando a combinação braço fletor/ telescópio com mola

Quando o carrinho estiver subindo e transpondo uma ou duas barras, o braço deverá fletir, garantindo a estabilidade com a ajuda das molas dentro dos telescópios, e após o carrinho transpor o(s) obstáculo(s) a própria resistência do braço fará com que o braço se feche, garantindo o contato entre o esqui e a torre.

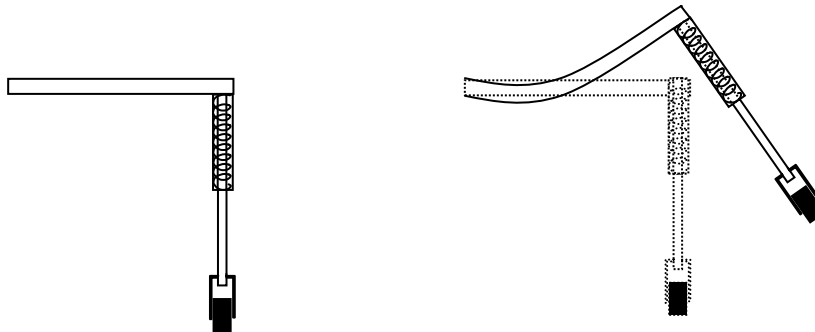


Figura 35 – representação da solução (a)

b) Utilizando a combinação dobradiça com mola/ telescópio com mola

Quando o carrinho estiver subindo e transpondo uma ou duas barras, a dobradiça deverá abrir, garantindo a estabilidade com a ajuda das molas dentro dos telescópios, e após o carrinho transpor o(s) obstáculo(s) a mola fará com que a dobradiça e o braço se fechem, garantindo o contato entre o esqui e a torre.

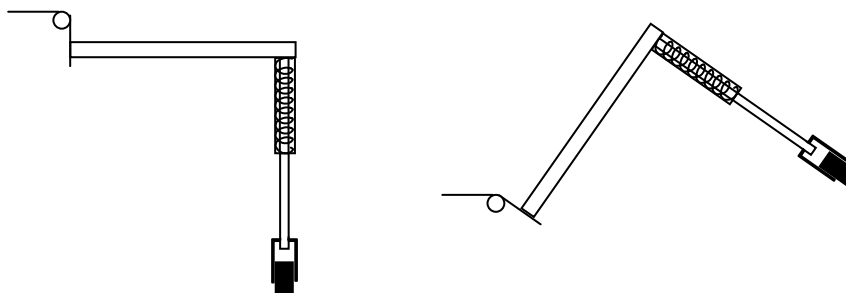


Figura 36 – representação da solução (b)

Soluções ativas:

a) Pinça: esta solução consiste de um motor conectado a duas pinças que servem para minimizar a possibilidade de tombamento do robô.

a1) Pinça com rodas: nessa solução, na ponta da pinça estariam rodas.



Figura 37 – Pinças com rodas

Vantagens: ao encostar na torre haveria pouco atrito, construção mais simples que o esqui.

Desvantagem: menos estável.

a2) Pinça com esquis: similar à solução a1), com a diferença que há um esqui na ponta da pinça.

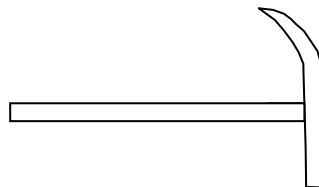


Figura 38 – Pinças com rodas

Vantagens: mais estável

Desvantagem: maior atrito.

a3) Pinça com roda magnética: é uma variação da solução a1), com a diferença que as rodas que apóiam o robô são magnéticas.



Figura 39 – Pinças com rodas

Vantagens: maior estabilidade.

Desvantagens: seria necessária uma força muito grande para a abertura das pinças para o descolamento das rodas.

– Estudo de estabilidade das soluções ativas

a) Pinça com molas: As pinças são acionadas por um motor para apoiar o robô junto à torre, e o movimento de fechamento das pinças é feito por mola.

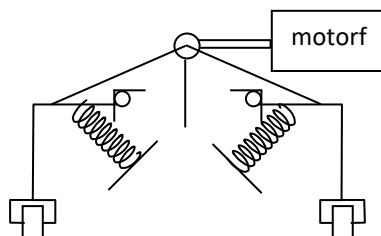


Figura 40 – pinça com mola

Vantagens: o motor não trabalha nos dois movimentos, menor complexidade do projeto.

Desvantagem: menor força de fechamento das pinças.

b) Pinça com cordas: As pinças são acionadas por um motor através da tração de cordas, tanto para abertura quanto para o fechamento das pinças.

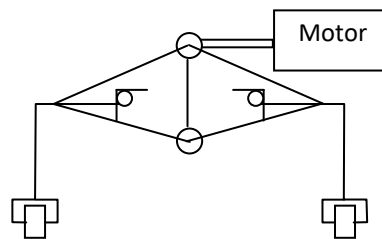


Figura 41 – pinças conectadas por cordas

Vantagens: não necessita de mola para o fechamento das pinças garantindo maior estabilidade ao robô, a abertura e o fechamento são regulados pelo motor.

Desvantagens: maior complexidade.

7.4 – Acionamento [11]

a) Acionamento de duas rodas: o robô teria dois motores, um motor para cada roda, posicionados próximos às suas respectivas rodas.

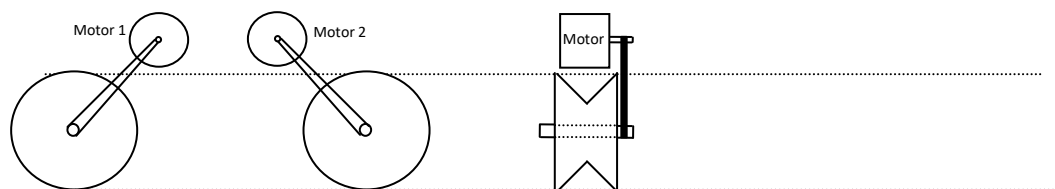


Figura 42 – Vista lateral e frontal do acionamento de dois motores

Vantagens: as rodas ficariam tracionadas garantindo a estabilidade do robô durante a subida.

Desvantagens: peso maior com dois motores, menor estabilidade devido ao momento causado pelo peso dos motores. Mais caro, pois necessita de dois motores.

b) Acionamento de uma roda: o robô teria acionamento direto em apenas uma roda com 1 motor e esta roda estaria ligada a outra roda. Podemos neste caso enumerar duas possibilidades

c) Motor com acionamento na roda da frente:

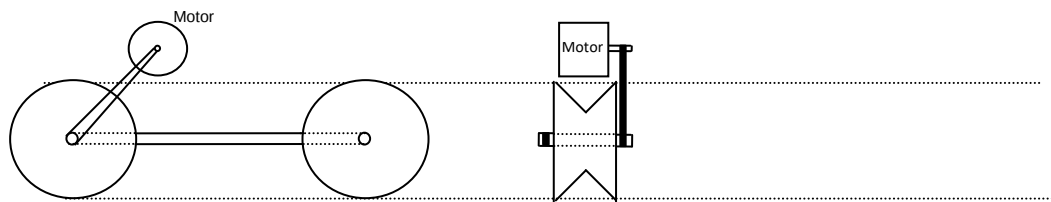


Figura 43 – Vista lateral e frontal do acionamento na roda da frente

Vantagens: Menor custo, menos peso, menos atuação do momento do peso do motor no robô.

Desvantagens: possibilidade de perda de estabilidade em uma das rodas.

d) Motor com acionamento na roda traseira:

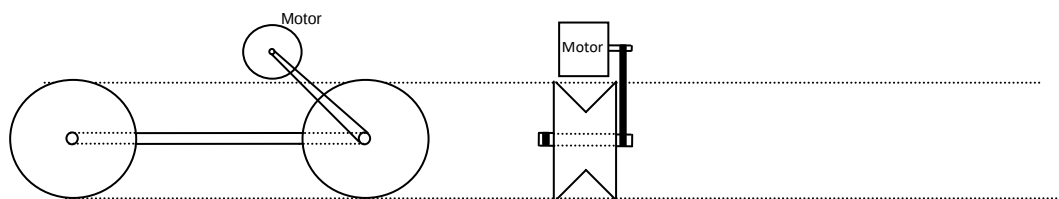


Figura 44 – Vista lateral e frontal do acionamento na roda traseira

Vantagens: Menor custo, menos peso, menos atuação do momento do peso do motor no robô.

Desvantagens: menor possibilidade de perda de estabilidade em uma das rodas.

Estudo de caso.:

Tração Dianteira:

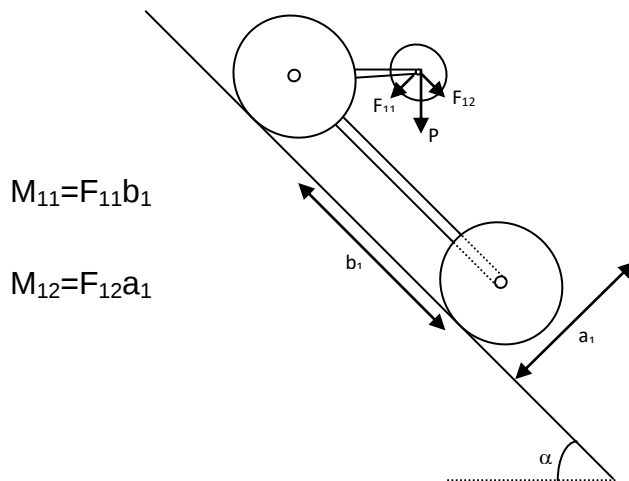


Figura 45 – estudo dos momentos para tração dianteira

Tração Traseira:

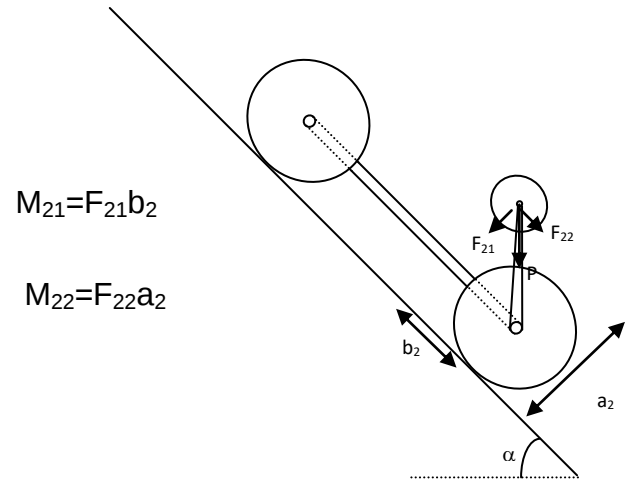


Figura 46 – estudo dos momentos para tração traseira

Porém $M_{12} = M_{22}$, pois $a_1 = a_2$ e $M_{11} > M_{21}$, pois $b_1 > b_2$, dessa forma a opção tração dianteira é mais apropriada.

7.5 – Estrutura [11]

Suporte Superior

- 1 motor – acionamento dianteiro: o suporte ficaria preso aos eixos das rodas e o motor seria posicionado próximo à roda de acionamento dianteira.

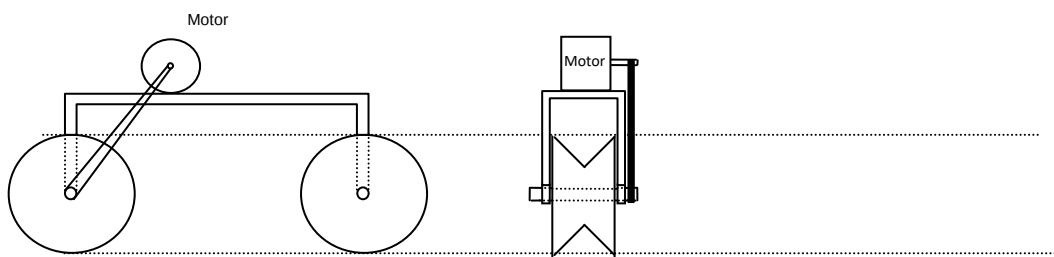


Figura 47 – Vista frontal e lateral do suporte superior para o motor

Vantagens: baricentro controlado, espaço para colocar o motor onde quiser. Menos limitações para os braços estabilizadores.

Desvantagens: perda de contato da roda com a torre pode gerar escorregamento. Rolamentos extremamente pequenos (encarecendo o projeto), motor em posição superior (risco de girar).

- 1 motor – acionamento duplo: seria a mesma solução do item i) acima, porém as rodas seriam ligadas por um eixo secundário.

Vantagens: baricentro controlado, espaço para colocar o motor onde quiser.

Desvantagens: rolamentos extremamente pequenos (encarecendo o projeto), motor em posição superior (risco de girar), limitações para os braços estabilizadores.

Suporte Inferior

- 1 motor – acionamento dianteiro : o suporte ficaria preso aos eixos das rodas e o motor seria posicionado próximo à roda de acionamento dianteira.

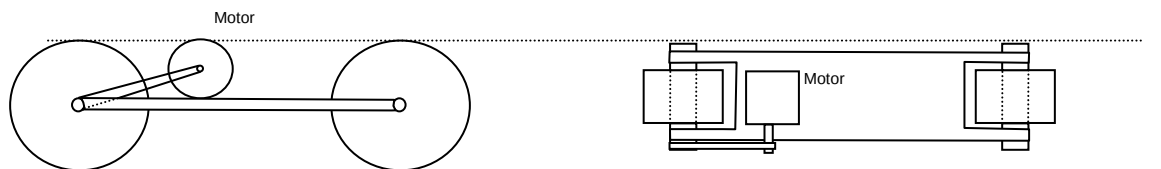


Figura 48 – Vista frontal e lateral do suporte inferior para o motor

Vantagens: baricentro bem controlado, menos limitações para os braços estabilizadores.

Desvantagens: perda de contato da roda com a torre pode gerar escorregamento. Rolamentos extremamente pequenos (encarecendo o projeto), motor em posição superior (risco de girar), pouco espaço para o posicionamento do motor.

- 1 motor – acionamento duplo: seria a mesma solução do item i) acima, porém as rodas seriam ligadas por um eixo secundário.

Vantagens: baricentro bem controlado.

Desvantagens: rolamentos extremamente pequenos (encarecendo o projeto), menos espaço para o posicionamento do motor, limitações para os braços estabilizadores.

8 – Matrizes de decisão para escolha da solução

Critérios	Pesos
Construção	4
Transmissão em contato com a superfície da torre	2
Custo	3
Superfície de contato	4
Estabilidade	5

Tabela 1 – pesos dos critérios para a ligação das rodas

V = VALOR ATRIBUÍDO

T = VALOR * PESO

8.1 – Ligação das rodas

Soluções	Construção		Transmissão em contato		Custo		Superfície de contato		Estabilidade		Total
	V	T	V	T	V	T	V	T	V	T	
Correia externa	3	12	1	2	2	6	5	20	4	20	60
2 eixos - correia lisa	4	16	5	10	4	12	3	12	5	25	75
Uma Roda Livre	5	20	4	8	5	15	2	8	5	25	76
2 eixos - correia dentada	1	4	5	10	3	9	4	16	5	25	64

Tabela 2 – resultados dos critérios para a ligação das rodas

Solução escolhida: Uma Roda Livre

8.2 – Estrutura

Critérios	Pesos
Construção	2
Baricentro baixo	5
Tamanho	5
Possibilidade de colocação do motor	2

Tabela 3 – pesos dos critérios para a estrutura

Soluções	Construção		Baricentro baixo		Tamanho		Possibilidade de colocação do motor		Total
	V	T	V	T	V	T	V	T	
Suporte superior	5	10	3	15	3	15	5	10	50
Suporte inferior	4	8	5	25	5	25	2	4	62

Tabela 4 – resultados dos critérios para a estrutura

Solução escolhida: suporte inferior

8.3 – Apoio lateral

Crítérios	Pesos
Estabilidade	5
Possibilidade de emperrar	5
Construção	4

Tabela 5 – resultados dos critérios para o apoio lateral

Soluções	Estabilida de		Possibilidade de emperrar		Construção		Total
	V	T	V	T	V	T	
Roda com mola	3	15	5	25	5	20	60
Esqui com mola	5	25	5	25	4	16	66
Pinça com mola	6	30	5	25	4	16	71
Pinça com cordas	8	40	4	20	3	12	72

Tabela 6 – resultados dos critérios para o apoio lateral

Solução escolhida: Pinça com cordas

9 – Construção da torre para testes

Está prevista a construção de parte de uma torre de transmissão de energia em tamanho real para simular testes com o protótipo para melhorias da solução final do projeto.

Com a construção da torre em escala real, poderemos fazer os testes sem riscos de acidentes como choque elétrico, podendo verificar com precisão se o projeto consegue transpor os obstáculos (travessas, parafusos) e se o projeto tem estabilidade suficiente para escalar a torre.



Figura 49 – vista de uma torre

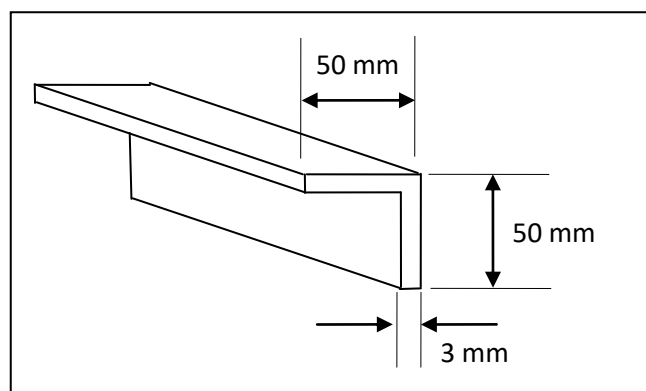


Figura 50 – medidas das travessas

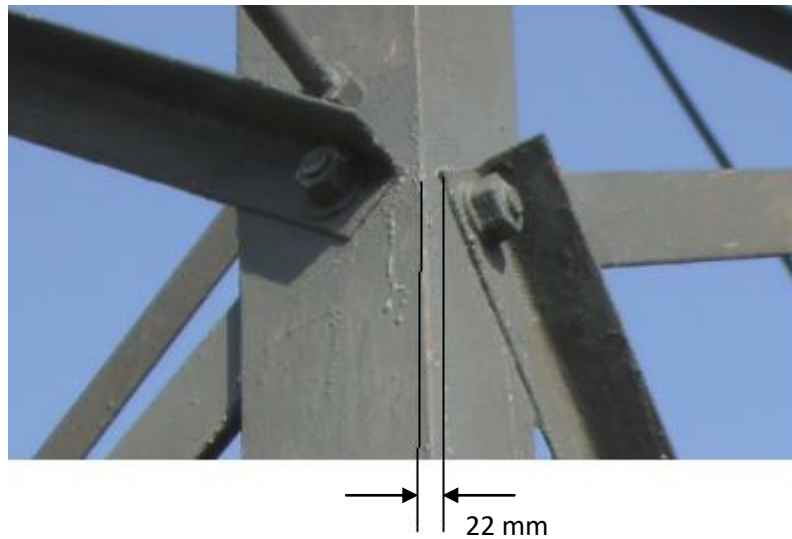


Figura 51 – espaço para passagem do robô

Protótipo da torre de transmissão

Conforme foi citado acima, o protótipo baseado nas medidas de uma torre, será feito para simular testes. A torre é composta pelas travessas e pela montante. As medidas escolhidas para a torre foram:

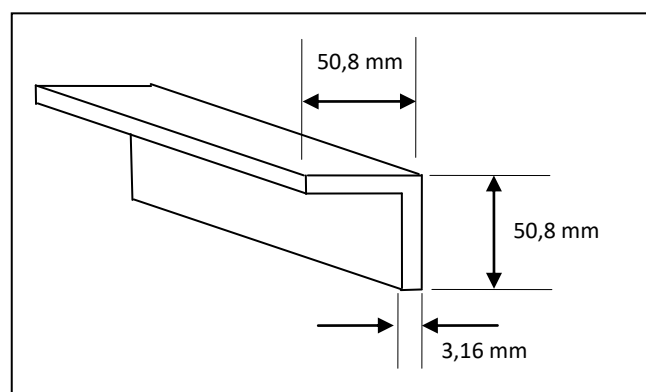


Figura 52 – medidas das travessas do protótipo

Travessas

As medidas das travessas do protótipo não são exatamente as medidas da torre tomada como base, pois não foi encontrado perfil em L disponível no mercado com tais medidas, mas para os fins destinados à torre que são para testes e melhorias no projeto do robô, essas medidas são mais do que suficientes, possibilitando uma simulação muito boa da torre real.

Montante

A torre terá 2 metros altura, pois não é necessário nem exequível fazer uma torre em tamanho real, mesmo porque se trata de um protótipo de torre que servirá apenas para testes, sendo mais do que suficiente essa altura.

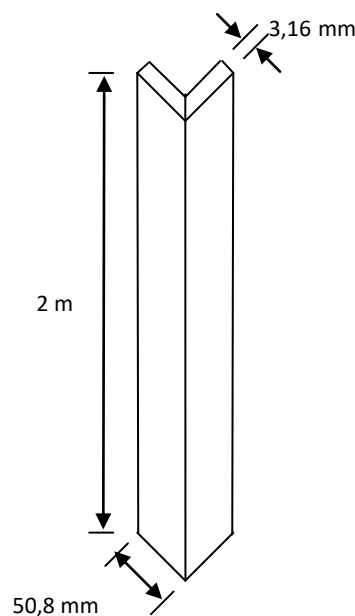


Figura 53 – medidas da montante do protótipo

Construção

As travessas serão coladas junto a montante, sendo dispostas duas a duas com um ângulo diferente entre elas, simulando as diferentes disposições apresentadas na torre real.

A torre ficará apoiada em uma parede. Nas pontas da torre, será fixada uma borracha, evitando o deslizamento entre a torre e a parede.

10 – Detalhamento do Projeto [8] [10] [11]

10.1 – Rodas

10.1.a – Especificações

As rodas do projeto devem atender as seguintes exigências:

- a) Ser suficientemente estreita para poder passar entre as travessas.
- b) Ter peso reduzido para limitar o peso do carro.
- c) Ter força magnética suficiente para garantir alta força de contato entre a roda e a torre.
- d) Ter diâmetro suficientemente grande para minimizar o impacto de imperfeições na superfície da torre.

10.1.b – Características Geométricas

A roda devido a distância entre a travessas de 22mm deve ter uma espessura máxima de 30mm aproximadamente.

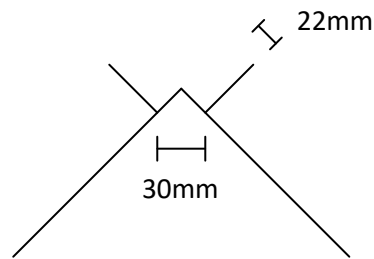


Figura 54 – Perfil da torre

Na construção da roda temos que levar em consideração o tamanho dos ímãs de 6mm. Como já citado acima no item 6.4, a solução para a melhor magnetização encontrada deve ter duas camadas de ímãs interligadas por placas de aço em formato cilíndrico (ver figura 20 *no item acima*). Desta forma teremos 12mm de espessura na roda devido aos ímãs.

As placas de aço, como dito na experiência de magnetização, não precisam de grande espessura para performar melhor o fluxo magnético, portanto escolhemos uma espessura mínima de 2mm por placa.

A espessura total da roda seria a soma da espessura dos ímãs mais a soma da espessura das placas. Total de 12mm (duas camadas de ímãs) mais 6mm (três placas de aço cilíndricas) que são 18mm de espessura da roda.

Como esperamos que a superfície da torre não seja extremamente lisa construiremos a roda com um diâmetro relativamente grande para poder minimizar os impactos das imperfeições no trajeto do robô. O diâmetro escolhido para tanto foi de 100mm.

10.1.c – Características Físicas

As placas que interligam as camadas dos ímãs deverão ser construídas com aço 1020 devido a boa condutividade magnética e preço.

O miolo, estrutura intermediária responsável pela fixação dos ímãs devera ser construído com nylon, por ser extremamente leve e fácil manuseamento.

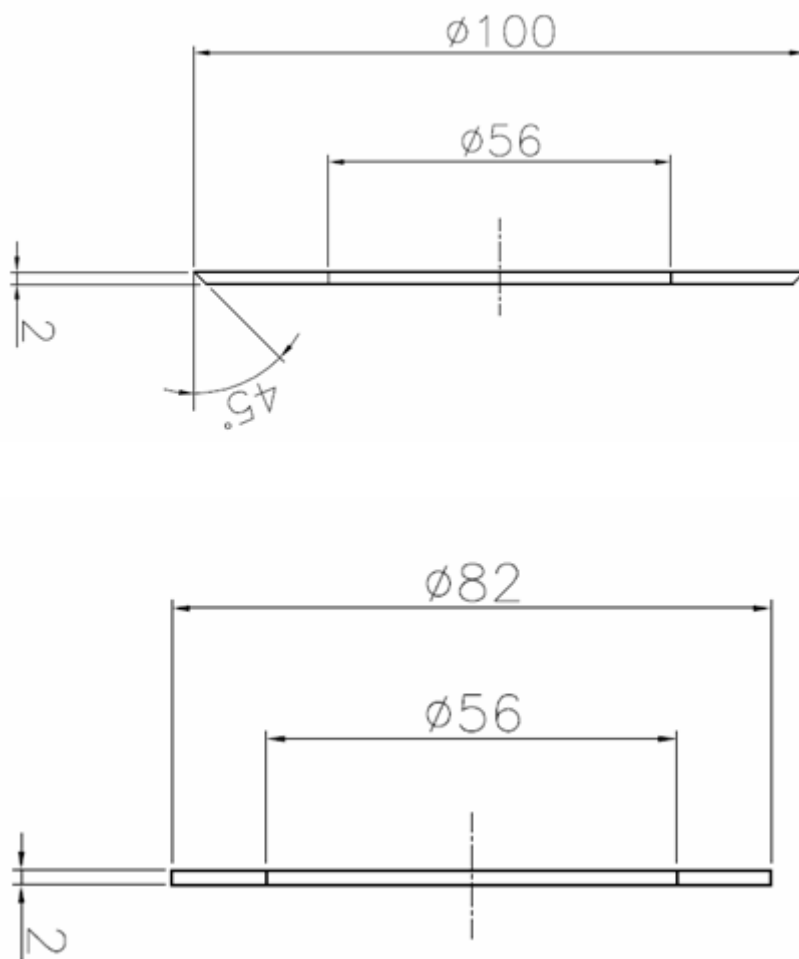
10.1.d – Desenho de Conjunto

Figura 55 - Discos

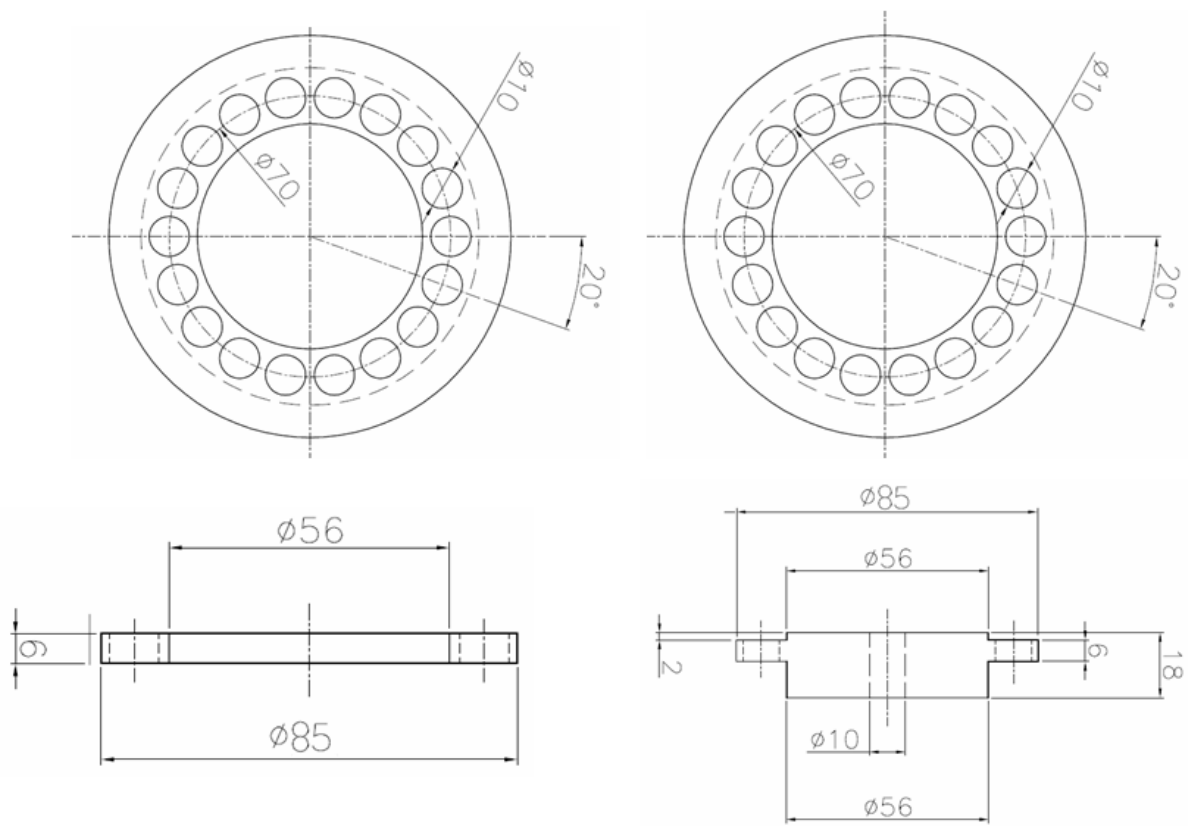


Figura 56 - Peças de Nylon

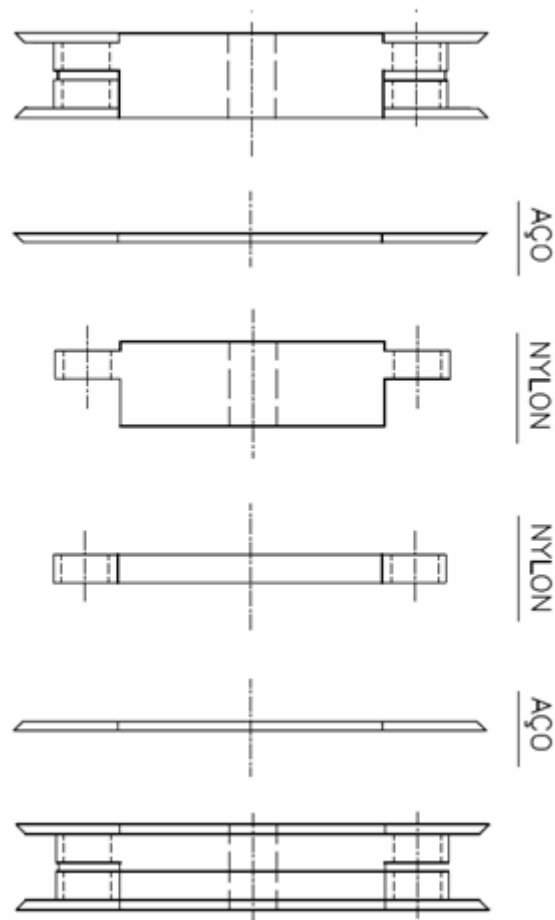


Figura 57 – Desmontagem

Para possibilitar o acionamento da roda dianteira, foi feita uma peça de alumínio com o formato da correia trapezoidal que será usada. O desenho está na figura a seguir. Ela foi parafusada à roda dianteira e no furo de 30mm de diâmetro foi colocado um rolamento.

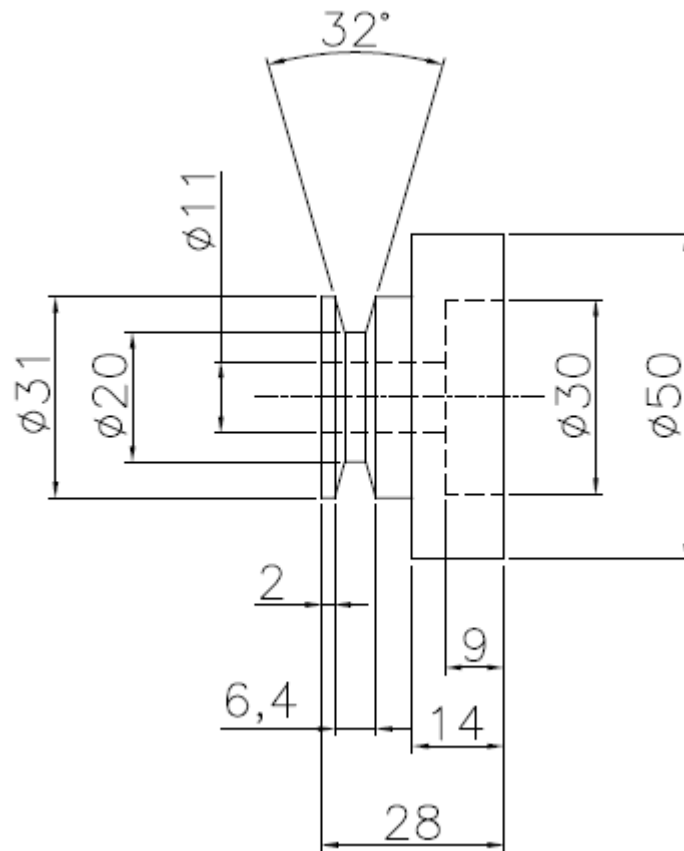


Figura 58 - Peça de alumínio

10.2 – Suporte

10.2.a – Especificações

O suporte terá de seguir as seguintes exigências:

- Ser leve para não influenciar significativamente no desempenho do robô
- Ser suficientemente grande para poder abranger as pinças e os motores
- Estar a uma distância mínima da torre para não se chocar com as travessas.

10.2.b – Características Geométricas

Utilizaremos dois motores, o primeiro que é maior servirá para realizar o movimento de subida do robô, e o segundo será responsável pelas pinças auxiliares. O motor maior tem as seguintes medidas 9.4 x 3.5 x 3.5 (cm), já o menor tem 3.4 x 1.5 x 1.5 (cm).

O diâmetro da roda é de 100mm, portanto o suporte deverá ficar entre 0 e 50mm distante da torre (utilizamos a solução suporte inferior para melhor controle do baricentro). Quanto mais baixo o suporte estiver, mais estável ficará o robô, porém, quanto mais baixo, maior a chance de chocar com as travessas e obstáculos. Decidimos que uma altura boa seria próxima do eixo da roda (uma altura considerável que evita chocar com os obstáculos e ainda assim não compromete a estabilidade).

Para minimizar o peso do carro, faremos o suporte vazado de tal forma que a pinça estará alocada neste vazamento como mostra a figura abaixo.

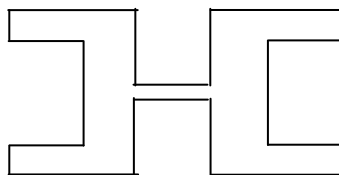


Figura 59 – Rascunho Suporte

O suporte, deverá ter de comprimento um tamanho de 275mm, onde 65 mm será o espaço para cada roda, 41mm espaço para fixação e colocação do motor primário e 70mm para a pinça e motor secundário.

O suporte deverá ter de largura um tamanho de 93mm sendo que 94mm é o comprimento do motor (uma pequena parte do motor ficará para fora).

10.2.c – Características Físicas

O suporte será construído de alumínio por ser um material leve e resistente de forma a suportar os esforços a que será exposto.

10.2.d – Desenho de Conjunto

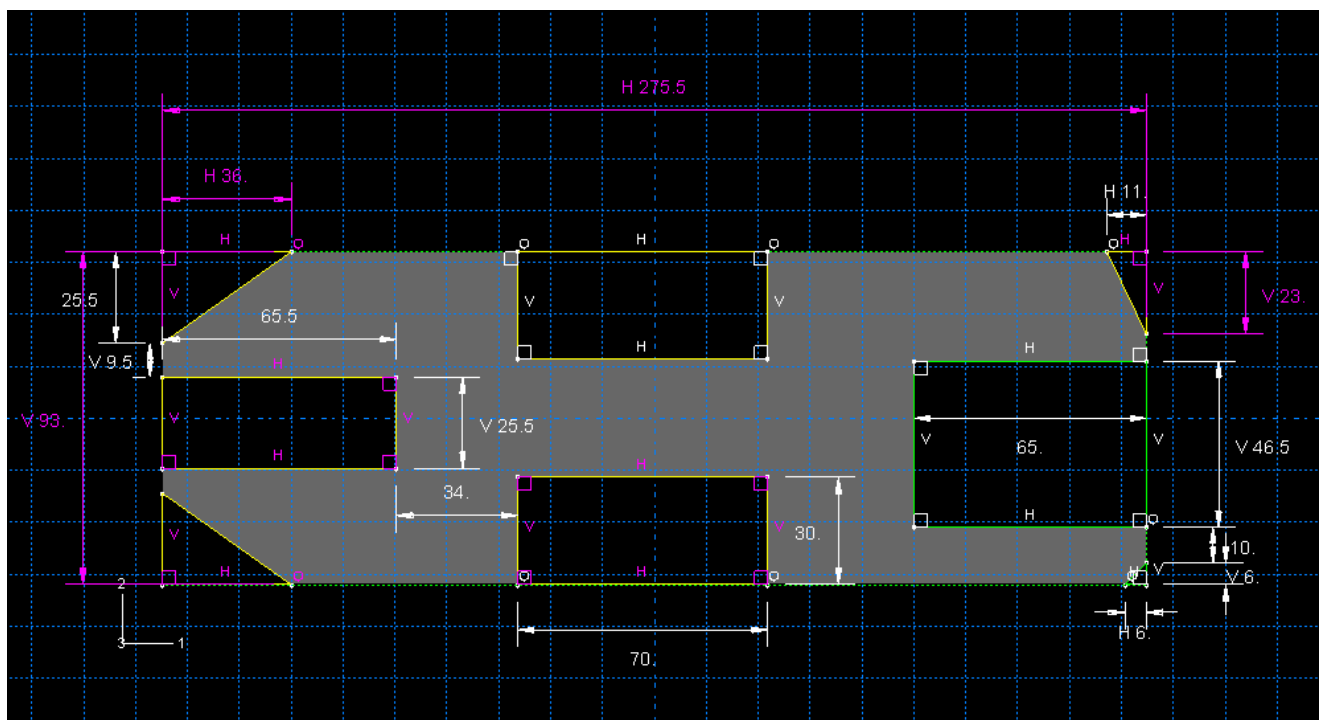


Figura 60 – Suporte Vista Superior

10.3 – Pinças com Molas

10.3.a – Especificações

As pinças deverão seguir as seguintes necessidades:

- Deverá ser longa e ter abertura suficiente para não se chocar com as travessas
- Deverá ter resistência para poder suportar a força de estabilização exercida pela mola.

10.3.b – Características Geométricas

Utilizaremos duas pinças para mantermos o robô estável em seu percurso. Temos um espaço de 70mm para colocarmos o braço da pinça e as molas de torção.

Construímos dois braços de 55mm que serão acoplados a uma haste que terá grau de liberdade para rotacionar (conforme figura abaixo).

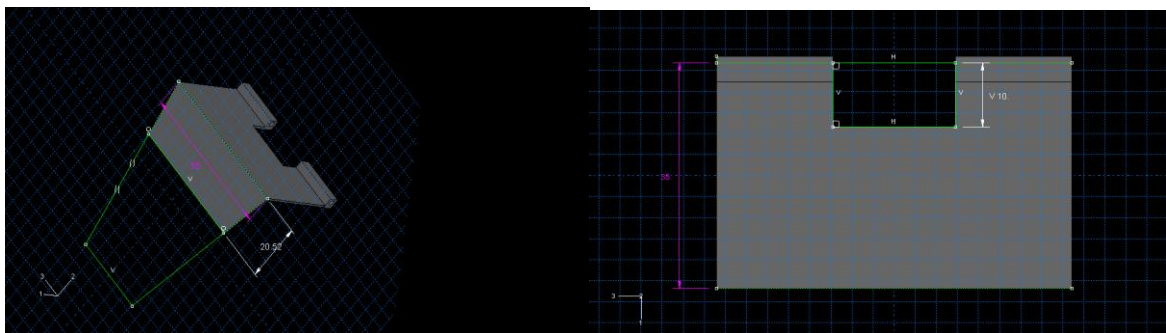


Figura 61 – Vista Isometrica e Vista Superior Pinças

A haste tem um diâmetro de 2mm e comprimento 97mm. Suas pontas são levemente dobradas para se fixarem em seus suportes. Serão um total de 4 fixadores (dois para cada haste) de 35mm de comprimento e 10mm de largura. Os fixadores serão acoplados ao suporte por parafusos.

10.3.c – Características Físicas

As pinças serão construídas de alumínio por serem leves e suficientemente resistentes. A haste será de latão e os seus suportes de alumínio.

10.3.d – Desenho de Conjunto

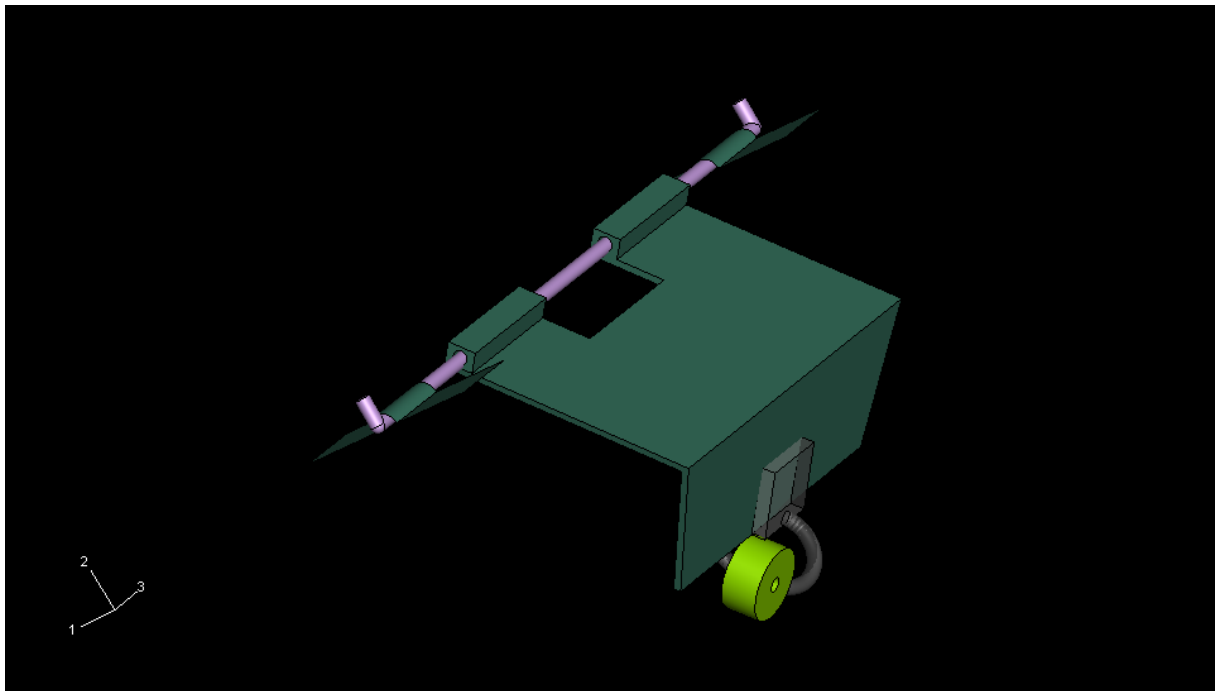


Figura 62 – Pinça Completa

11 – Construção e Simulação

11.1 – Construção Rodas e Suporte das Rodas

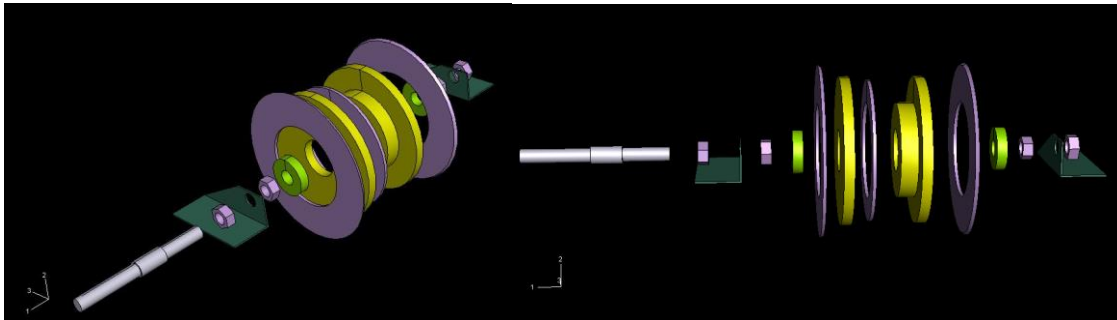


Figura 63 – Montagem Roda

11.2 – Construção Pinças com Molas

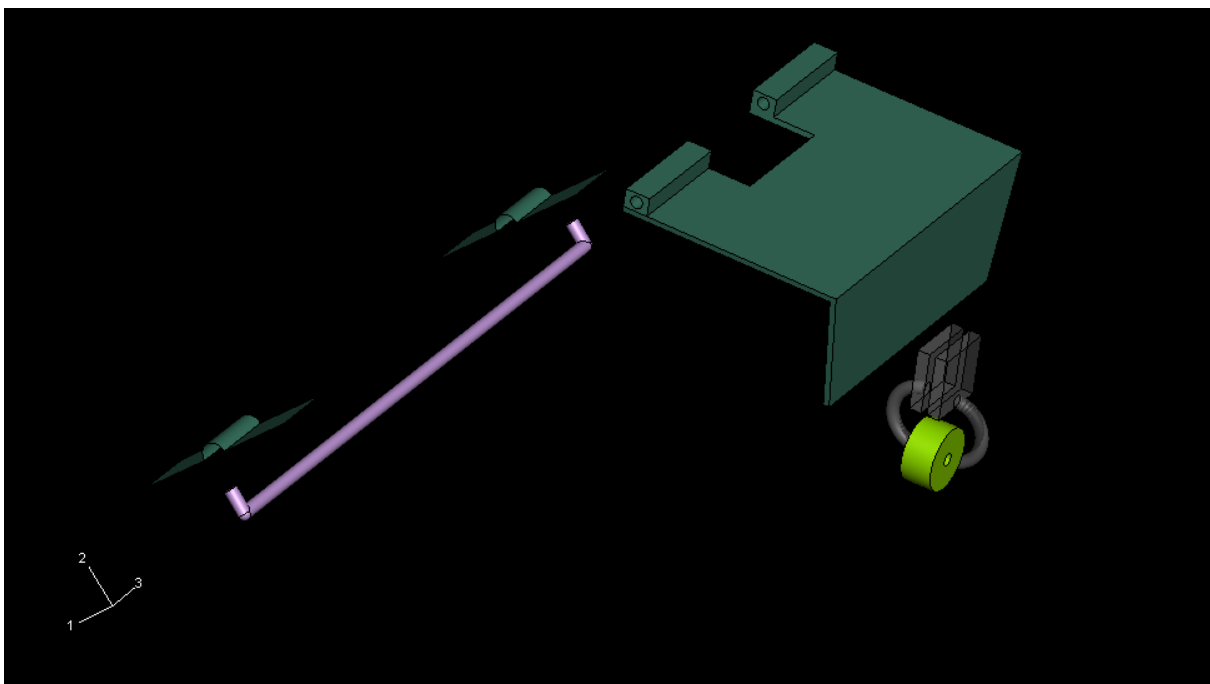


Figura 64 – Montagem Pinça

11.3 – Construção Motores e Suportes

11.3.a – Motor 1 - Motor Principal

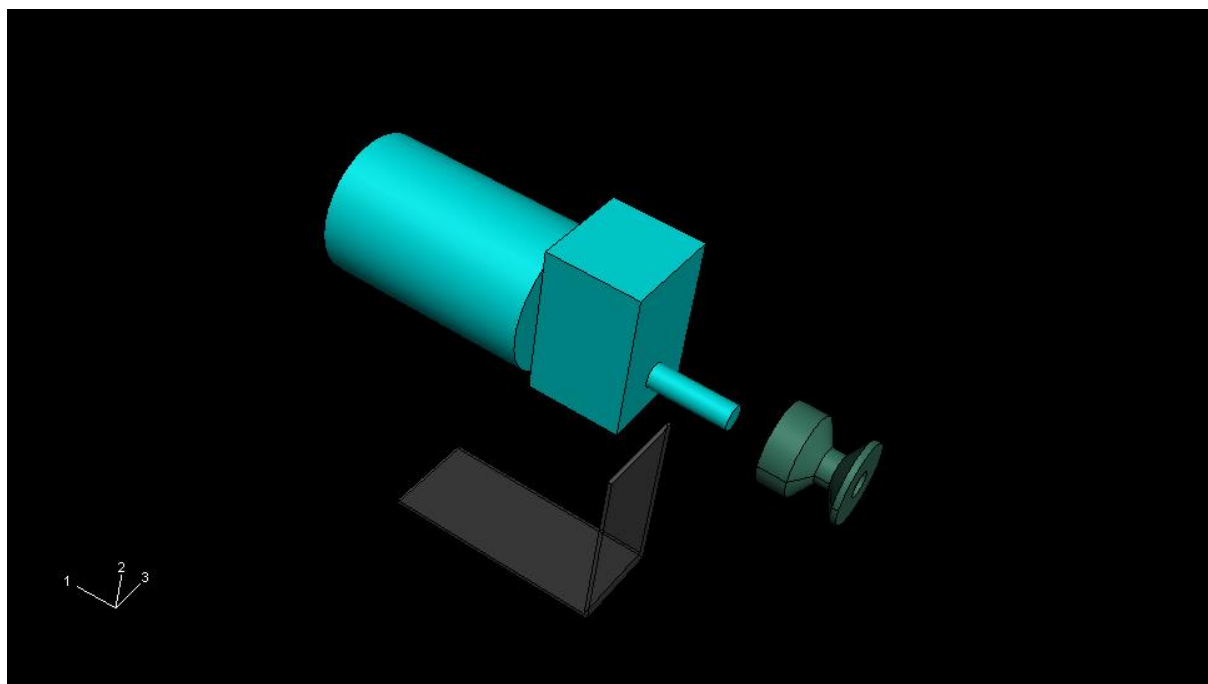


Figura 65 – Montagem Motor Principal

11.3.b – Motor 2 - Motor Secundario

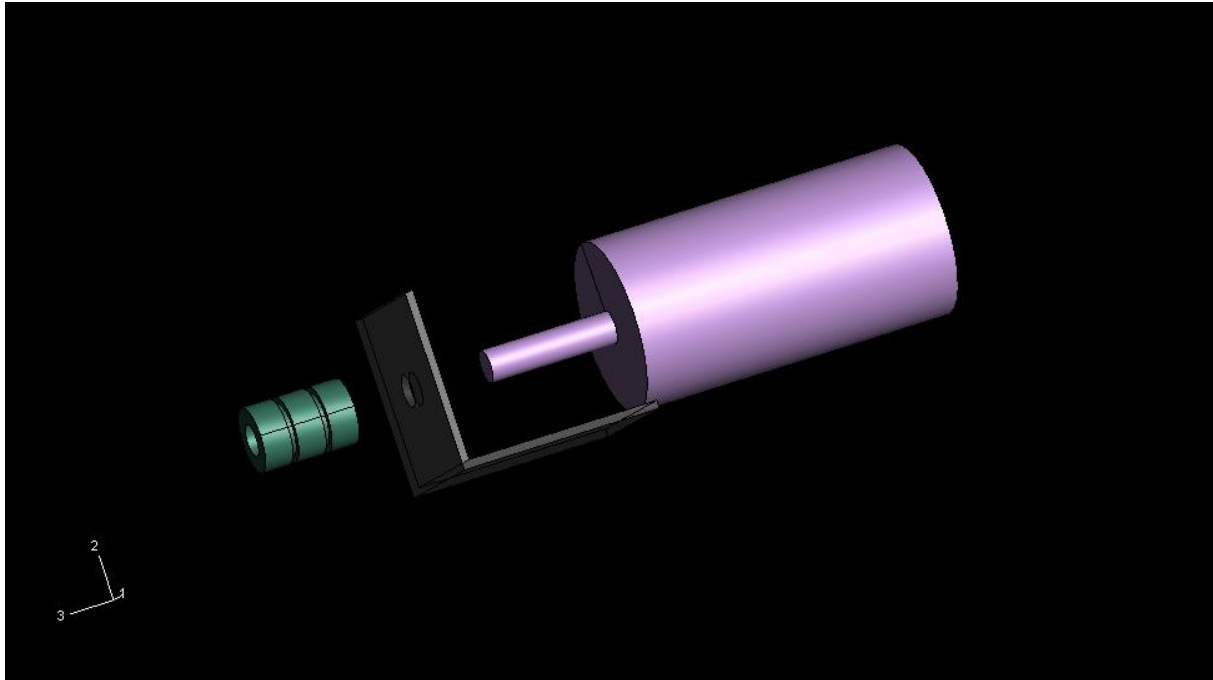


Figura 66 – Montagem Motor Secundario

11.4 – Simulação da Passagem pela Travessa

11.4.a – Antes de Atravessar

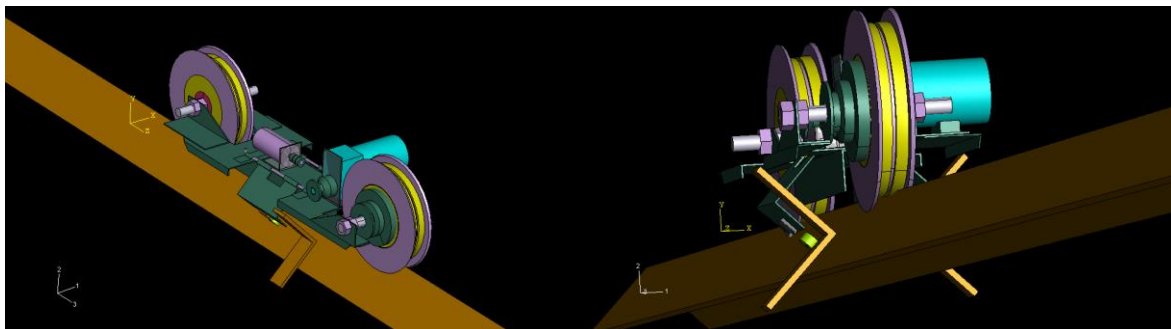


Figura 67 – Conjunto e Frontal

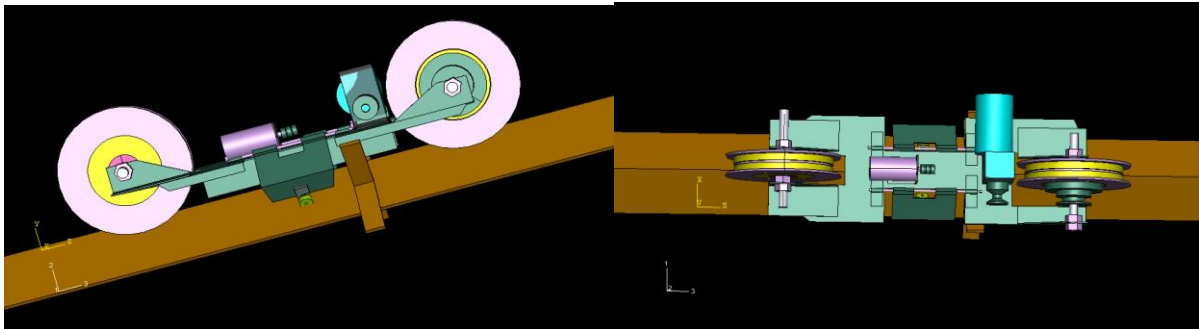


Figura 68 – Lateral e Superior

11.4.a –Atravessando

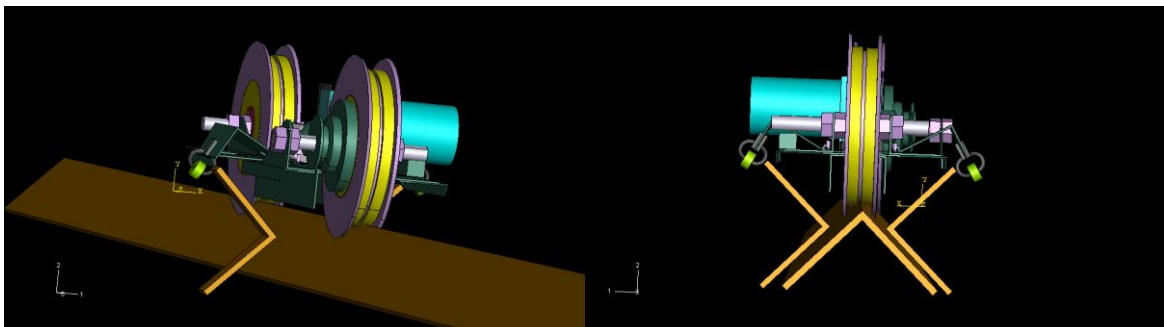


Figura 69 – Conjunto e Frontal

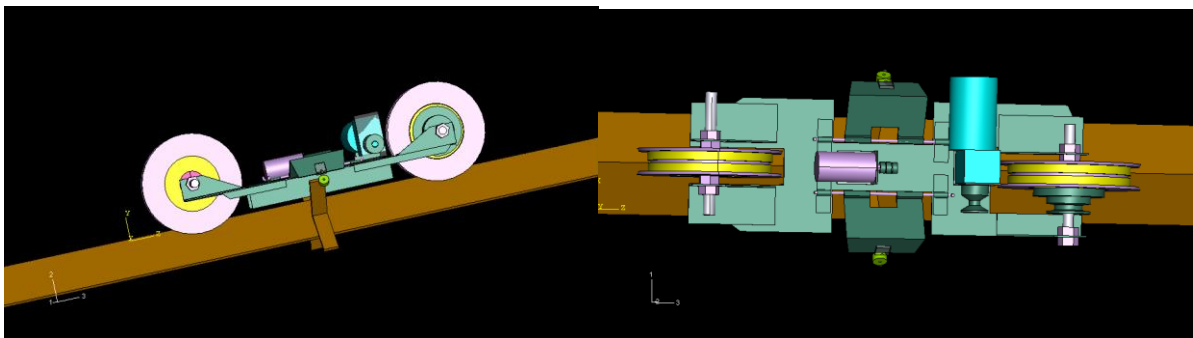


Figura 70 – Lateral e Superior

12 – Controle Manual [13]

12.1 – Aspectos Gerais

O controle do robô será manual diretamente controlado pelo usuário que estará no nível do solo e observará o robô executar o percurso sob a torre. Para tanto o robô portará os motores em sua estrutura e esta estará diretamente ligada por meio de um “cordão umbilical” ao controle do usuário.

12.2 – Escolha dos Motores

Após pesquisar por algumas lojas em São Paulo encontramos os motores ideais para executar as tarefas:

- 1) Torque para empurrar o robo até o topo da torre
- 2) Torque para levantar as Pinças com Molas

Para o primeiro caso procuramos um motor que obtivesse torque suficientemente grande, por isso deve ter bastante redução. Outra característica que o motor deve possuir é ser o menor possível e o mais leve possível, devido às limitações do projeto (o robô deve ser o mais leve e compacto possível para passar entre as travessas). Encontramos:

- 1) Voltagem: 24V
- 2) Peso: 350g

Para o segundo caso não precisaremos de um motor com torque alto, pois será necessário apenas o esforço de abrir as pinças. Dessa forma escolhemos o motor mais compacto:

- 1) Voltagem: 5V
- 2) Peso: 100g

12.3 – Circuito Principal

Como visto no item acima, foram escolhidos dois motores com voltagem de usos diferentes. Desta forma o circuito elétrico do robô necessitará de um divisor de voltagem para que o motor 1 possa apresentar o maximo torque e o motor 2 não queime.

12.3.a – Resistência

Poderíamos usar para regular a voltagem no motor uma resistência de tal forma que fosse criado um divisor de tensões no ponto V_1 .

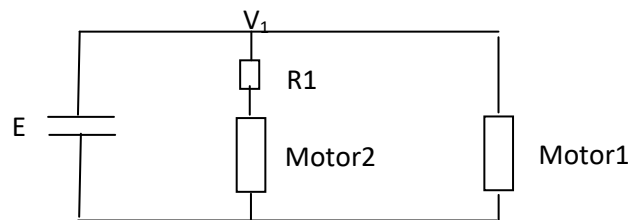


Figura 71 – Circuito c/ regulador por resistencia

O problema de utilizarmos uma resistência é o fato de a resistência do motor 2 variar devido ao torque utilizado e dessa forma a tensão no motor 2 deve variar.

Analíticos:

$$V_1 = E$$

$$V_{\text{motor2}} = V_1 \cdot R1 / (R_{\text{Motor2}} + R1)$$

$$V_{\text{motor1}} = V_1$$

12.3.b –Diodo Zener

Uma breve introdução do diodo Zener pode ser encontrada no anexo 1. O circuito seria o mesmo da figura acima, porem nao teria a resistencia $R1$ e o diodo zener controlaria a voltagem para o motor 2.

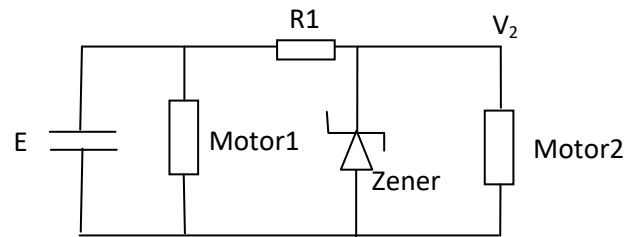


Figura 72 – Circuito c/ regulador diodo Zener

Dessa forma podemos usar uma bateria de 12V e controlar a voltagem no motor 2 de 5V.

Analítico:

$$V_{\text{motor1}} = E$$

$$\text{Se } V_2 \geq V_{\text{zener}}$$

$$V_{\text{motor2}} = V_{\text{zener}}$$

$$\text{Se } V_2 < V_{\text{zener}}$$

$$V_{\text{motor2}} = V_{\text{motor1}} \cdot R1 / (R_{\text{motor2}} + R1)$$

12.3.c – Fontes Paralelas

Essa solução, mais simples do que as anteriores, consiste da utilização de duas fontes paralelas. A primeira seria utilizada com 24V e seria diretamente ligada ao motor 1, já a segunda com 5V e seria diretamente ligada ao motor2.

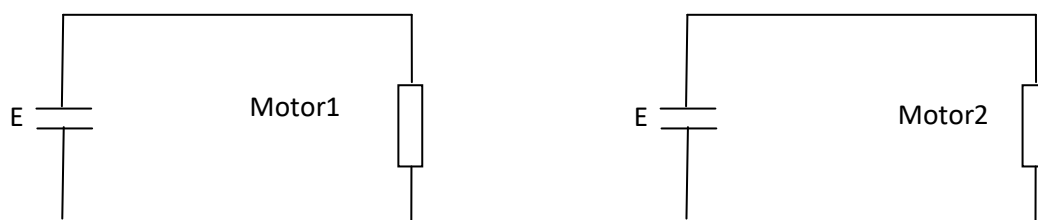


Figura 73 – Circuitos Paralelos

12.4 – Fonte Elétrica

O robô utilizará uma bateria de 24V que deverá ficar junto ao circuito elétrico ao lado do usuário.

12.5 – Controlador

O controlador será constituído de duas chaves. A primeira, uma chave simples on/off, será utilizada no motor1 e a segunda, uma chave inversora de polaridade para o motor2.



Figura 74 - Controle Motor 1

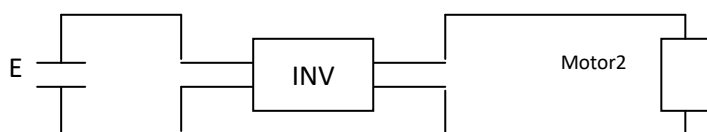


Figura 75 - Controle Motor 1

13 – Testes e Ensaaios

13.1 – Rodas Magnéticas

Os primeiros experimentos depois de construída a roda foram os testes de força magnética. O objetivo é descobrir a força magnética entre a roda imantada e a superfície da torre, para dessa forma podermos estimar o coeficiente de atrito e por fim ver se o robô consiga subir sem escorregar.

Para medir a força magnética utilizamos o protótipo da torre e uma roda magnetizada. Primeiro apoiamos a torre da maneira ilustrada abaixo.

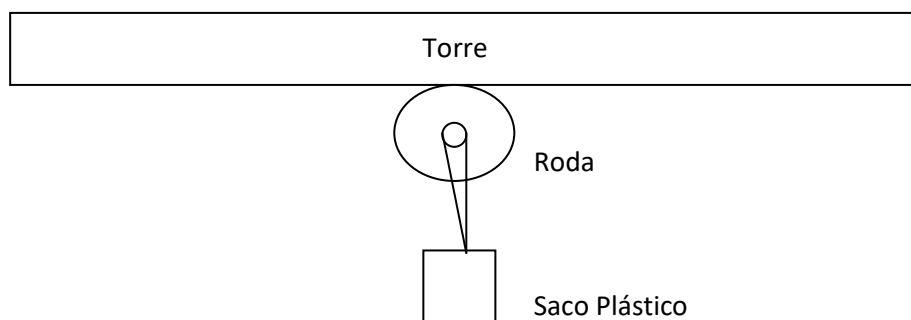


Figura 76 – Montagem Motor Principal

Colamos a torre exatamente na vertical para que a roda não role ao ser efetuado o teste. Amarramos no eixo da roda um fio de medidas iguais e que se juntam em um saco plástico onde depositamos pesos. A medida que foram colocados os pesos a roda não agüentou e se soltou. Pesamos o conjunto final e descobrimos o quanto de força magnética existe entre a roda e o protótipo da torre. Essa medida foi de 22.5N.

Fizemos um teste para medir o coeficiente de atrito colocando a torre na horizontal travando a roda e fazendo a mesma escorregar controlando o peso no saco plástico amarrado a ela. A força que suportou na vertical foi de 14.3N

Portanto o coeficiente de atrito estimado foi de 0.61.

13.2 – Pinças

Após termos montado as pinças pudemos medir a corrente e voltagem adequada para seu motor.

- 1) A voltagem ideal para o funcionamento da pinça foi de 4.6V
- 2) A corrente ideal que utilizada pelo motor foi de 3A .

14 – Conclusões

O projeto em si correspondeu as expectativas do grupo onde em primeiro lugar precisávamos obter uma solução para a escalada, em segundo lugar uma solução para a estabilidade.

No começo do projeto decidimos por fazer uma roda imantada, a solução foi bastante eficiente e nos possibilitou um projeto de tamanho relativamente pequeno, barato e extremamente confiável pois a força magnética da roda é bastante grande.

Após a construção da roda tivemos a difícil tarefa de construir o suporte, escolher os motores e finalmente construir as asas. Essas tarefas, apesar de termos projetado com antecedência foram bastante difíceis pois envolveram construção. Porém conseguimos obter um protótipo razoável para podermos apresentar em nosso protótipo de torre.

Ao final do projeto testamos o robô em diversas situações, como, em posição de 90%, 80%, em alta velocidade, em baixa velocidade etc... Em todas as situações o robô teve uma performance aceitável então podemos considerar o projeto como finalizado.

Numa possível segunda fase do projeto nós gostaríamos de dar algumas sugestões:

- a. Controle e Sensores: → seria interessante para o robô se o controle manual das asas fosse automatizado, dessa forma, quando o robô atingisse uma certa altura o controlador não precisaria se preocupar

em enxergar as travessas e levantar/abaixar as asas. Os sensores disparariam as asas a medida que a travessa se aproximasse.

- b. Segurança → seria interessante se fosse criado algum sistema de segurança para o caso de o motor escapar da torre em uma posição muito alta. Uma sugestão seria um pequeno para-quedas, e molas de ejeção. Neste caso se o robô perdesse o contato com a torre as molas disparariam robô voaria da torre e um pequeno para-quedas seria acionado.
- c. Otimização da Estrutura → o protótipo teve apenas uma construção, sendo que seria bastante fácil trocar o material do suporte por algo mais resistente. Fazer uma roda com material mais leve e uma polia vazada para economizar peso.
- d. Eliminação\Otimização do Cordão Umbilical → poderia ser feito um circuito elétrico que diminuiria um fio do cordão, ou poderia ser usado para as asas um motor de mesma voltagem que o motor principal, assim eliminando dois fios do cordão.
- e. Fixação do Carro no Alto, Jogar Corda → essa parte não está no escopo deste projeto porém estaria facilmente para a segunda parte. Seria um carretel que subiria com jogando uma linha por um lado da torre, ao chegar ao topo o carretel é destravado e cai pelo lado de dentro da torre. Desta forma o carrinho pode descer e podemos levar uma corda mais forte para cima.

15 – Anexos

15.1– Diodo Zener

15.1.a - Fabricação

O diodo Zener difere do diodo convencional pelo fato de receber uma dopagem (tipo N ou P) maior, o que provoca a aproximação da curva na região de avalanche ao eixo vertical. Isto reduz consideravelmente a tensão de ruptura e evidencia o efeito Zener que é mais notável a tensões relativamente baixas (em torno de 5,5V). Desta forma, qualquer diodo que seja projetado para operar na região de avalanche (mesmo que não seja a baixas tensões) é denominado de diodo Zener.

15.1.b Símbolo



Símbolo do Diodo Zener

15.1.c Funcionamento

O diodo Zener pode funcionar polarizado diretamente ou reversamente. Quando está polarizado diretamente, funciona como outro diodo qualquer. Não conduz enquanto a tensão aos seus terminais for inferior a 0,5 V (diodo de silício) e a partir desta tensão começa a conduzir, primeiro pouco e depois cada vez mais depressa, sendo não linear a curva de crescimento da corrente com a tensão. Por esse fato, a sua tensão de condução não é única, sendo considerada de 0,6 ou 0,7 V.

Qualquer diodo reversamente polarizado praticamente não conduz desde que não ultrapasse a tensão de ruptura. Na verdade, existe uma pequena corrente

reversa, chamada de "corrente de saturação" e devida unicamente à geração de pares de elétron-lacuna na região de carga espacial, à temperatura ambiente. No diodo Zener acontece a mesma coisa. A diferença é que, no diodo convencional, ao atingir uma determinada tensão reversa, a corrente reversa aumenta bruscamente (avalanche) e a dissipação térmica acaba por destruir o dispositivo, não sendo possível reverter o processo. No diodo Zener, por outro lado, ao atingir uma tensão chamada de Zener (geralmente bem menor que a tensão de ruptura de um diodo comum), o dispositivo passa a permitir a passagem de correntes bem maiores que a de saturação reversa, mantendo constante a tensão entre seus terminais. Cada diodo Zener possui uma tensão de Zener específica como, por exemplo, 5,1 V, 6,3 V, 9,1, 12v e 24v.

Quanto ao valor da corrente máxima admissível, existem vários tipos de diodo. O valor indicado é o da potência. Por exemplo, existem diodos Zener de 400 mW, 1W além de outros valores. O valor da corrente máxima admissível depende desta potência e da tensão de Zener. É por isso que o diodo Zener se encontra normalmente associado com uma resistência em série, destinada precisamente a limitar a corrente a um valor admissível.

15.1.d Regulador de Tensão Com Zener

Corrente Máxima no Zener

Para que não danifique o componente

$$P_Z = V_Z \cdot I_{ZMÁX}$$

$$I_{ZMÁX} = P_Z / V_Z$$

Corrente Mínima

$$I_{ZMIN} = I_{ZMAX} \cdot 0,15$$

Cálculo do Resistor limitador RZ

Adiciona-se RZ para limitar a corrente no zener

$$RZMIN = (VCC - VZ)/IZMAX$$

$$RZMAX = (VCC - VZ) / IZMIN + IRML$$

$$RZ \text{ ADOTADO} = (RZMIN + RZMAX) / 2$$

$$RZMIN < RZ \text{ ADOTADO} < RZMAX$$

Definições: VCC : fonte de tensão contínua; VZ : tensão no Zener; PZ : potência do Zener; IZ : corrente do Zener; RZ : resistor limitador de corrente; RL : carga; IMRL : corrente média na carga;

Este método foi utilizado considerando uma tensão constante de entrada

16 – Bibliografia

- [1] <http://g1.globo.com/Noticias/Tecnologia/0,,MUL29351-6174,00.html> – consultado dia 14/04/2007
- [2] <http://ciencia.hsw.uol.com.br/robos-militares3.htm> – consultado dia 14/04/2007
- [3] http://www.universia.com.br/html/materia/materia_cbjb.html – consultado dia 14/04/2007
- [4] http://www.ece.ufrgs.br/~fetter/plir/cnpq_grices.pdf – consultado dia 14/04/2007
- [5] FUNDAMENTOS DE FÍSICA - VOLUME 3 - ELETROMAGNETISMO - 7ª EDIÇÃO.
David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker - LTC (Grupo GEN)
- [6] CURSO DE FÍSICA BÁSICA: ELETROMAGNETISMO - VOLUME 3. H.MOYSES
NUSSENZVEIG - Edgard Blucher
- [7] ELEMENTOS DE MÁQUINAS. GUSTAV NIEMANN - Edgard Blucher
- [8] PROJETO DE ENGENHARIA MECÂNICA. JOSEPH E. SHIGLEY, CHARLES R.
MISCHKE, RICHARD G. BUDYNAS - Bookman
- [9] RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS. E.RUSSELL JOHNSTON JR. FERDINAND P. BEER
- Makron Books
- [10] PROJETO DE MÁQUINAS: UMA ABORDAGEM INTEGRADA. ROBERT L. NORTON
- Bookman
- [11] MECÂNICA GERAL PARA ENGENHEIROS. PAULO CARLOS KAMINSKI - Edgard
Blucher
- [12] http://www.bbautomacao.com.br/hall_magnetico/Magnetos_Info_NdFeB.htm –
consultado dia 14/04/2007
- [13] ENGENHARIA DE CONTROLE MODERNO (4ª EDIÇÃO). KATSUHIKO OGATA -
Pearson / Prentice Hall