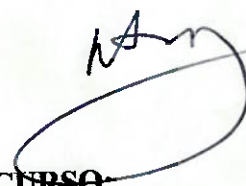


JOÃO GUSTAVO HERMANSON ROSA

nota final
7,00
(sete)



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM ROBÔ MÓVEL TERRESTRE

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do diploma de Engenheiro
Mecatrônico.

São Paulo
2003

JOÃO GUSTAVO HERMANSON ROSA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM ROBÔ MÓVEL TERRESTRE**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do diploma de Engenheiro
Mecatrônico.

Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador:
Prof. Doutor
Eduardo Lobo Lustosa Cabral

São Paulo
2003

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600010637

1371977
R-41P

FICHA CATALOGRÁFICA

Hermanson Rosa, João Gustavo

Trabalho de conclusão de curso: Projeto e Fabricação de um Robô Móvel Terrestre. São Paulo, 2003. 46p.

Trabalho de Conclusão de Curso – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica.

1. Robô móvel terrestre 2. Engenharia mecatrônica

I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica.

RESUMO

O presente trabalho aborda todas as etapas do projeto e fabricação de um robô móvel terrestre. Estão descritos de forma reduzida todos os cálculos necessários para a seleção de motores, rolamentos e polias dentadas de acordo com o modelo estrutural adotado para este robô. O texto também apresenta diversas aplicações para este tipo de robô e por fim a implementação da solução para a eletrônica de acionamento de motores de escova DC de 12V através do uso de pontes H e do controle da velocidade destes com um modulador PWM utilizando o chip 555.

ABSTRACT

This report explains all phases of project and manufacturing of an earthy mobile robot. This report describes concisely all calculation necessary for selection of motors, bearings and jagged pulley in accord with structural model selected for this robot. The text also shows several applications for this type of robot and finally the solution for activation electronics on DC brush motors of 12V by use H-Bridges and the speed control of these motors with a PWM modulator using the chip 555.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3. OBJETIVOS.....	12
4. JUSTIFICATIVA.....	13
5. METODOLOGIA.....	14
6. CONCEPÇÃO DO ROBÔ.....	15
6.1 Projeto mecânico.....	15
6.2 Eletrônica de acionamento.....	23
7. CONCLUSÕES.....	30
8. ANEXOS - DESENHOS DE FABRICAÇÃO E VISTAS DE CORTES.....	31
9. CRONOGRAMA.....	45
10. BIBLIOGRAFIA.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Robô terrestre que se desloca no plano.....	1
Figura 2 - Segundo exemplo de robô terrestre que se desloca no plano.....	1
Figura 3 - Um terceiro tipo de robô terrestre locomovendo-se no plano.....	2
Figura 4 - Robô terrestre usado com câmeras e sensores especiais para detectar pessoas debaixo de até toneladas de escombros como em desabamentos.	2
Figura 5 - Robô móvel terrestre utilizado na detecção de minas terrestres.....	2
Figura 6 - Outro tipo de robô terrestre utilizado na detecção de minas terrestres e que se desloca através de dois fusos.....	3
Figura 7 - Robô de brinquedo da Sanyo do tipo cão-de-guarda com câmeras.....	3
Figura 8 - Robô aspirador de pó da Matsushita da sua linha doméstica.....	4
Figura 9 - Robô aspirador de pó da iRobot que faz uso da mesma tecnologia de detecção de minas terrestres e foi o líder de vendas no natal de 2002 nos EUA vendido em sites de e-commerce por US\$200,00.....	4
Figura 10 - Afghan Explorer robô desenvolvido no MIT dotado de laptop e câmeras de vídeo para ser controlado por um repórter em locais hostis como campos de guerra.....	5
Figura 11 - Robô do tipo ROV (Remotely Operated Vehicle) usado na inspeção de tubulações de esgoto de pequeno diâmetro.....	5
Figura 12 - Um segundo tipo de robô do tipo ROV (Remotely Operated Vehicle) utilizado na inspeção de tubulações de esgoto de pequeno diâmetro em uma versão monobloco, com câmera fixa.....	6
Figura 13 - Robô do tipo ROV (Remotely Operated Vehicle) usado no reparo de tubulações.....	6
Figura 14 - Um segundo tipo de robô ROV (Remotely Operated Vehicle) usado no reparo de tubulações.....	7
Figura 15 - Exemplo de mecanismo de movimento das rodas com três graus de liberdade.....	7
Figura 16 - Exemplo de arquitetura eletrônica do veículo.....	8
Figura 17 - Esquema da arquitetura de controle das rodas.....	8
Figura 18 - Arquitetura do sistema de controle.....	9
Figura 19 - Estratégia de controle hierárquico com resolução múltipla.....	10

Figura 20 - Diagrama de blocos da cadeira de rodas.....	11
Figura 21 - Motor selecionado para as rodas: P4742 (203-13575), fabric. AJMaia..	17
Figura 22 - Motor para direcionar as rodas: G6242 (203-9735), fabricante AJMaia.	17
Figura 23 - Rolamento de contato angular com duas carreiras de esferas 3202B-2RSRTNG, fabricante: NSK.....	18
Figura 24 - Vista 1 do projeto mecânico.....	19
Figura 25 - Vista 2 do projeto mecânico.....	19
Figura 26 - Peças fabricadas e dos eixos já montados com os rolamentos nos cilindros.....	20
Figura 27 - Peças fabricadas montadas entre as placas superior e inferior.....	20
Figura 28 - Montagem dos suportes dos motores com as suas respectivas rodas.....	21
Figura 29 - Vista 1 do protótipo mecânico fabricado e montado.....	21
Figura 30 - Vista 2 do protótipo mecânico fabricado e montado.....	22
Figura 31 - Vista 3 do protótipo mecânico fabricado e montado.....	22
Figura 32 - Esquema do circuito da ponte H.....	23
Figura 33 - Face das trilhas à esquerda e dos componentes à direita de uma ponte H.....	24
Figura 34 - Esquema do circuito do modulador PWM utilizando o chip 555.....	25
Figura 35 - Face das trilhas à esquerda e dos componentes à direita do PWM.....	26
Figura 36 - Modulador PWM conectado a uma ponte H que por sua vez está alimentada por uma fonte DC de 12V e conectada a um motor DC para testes.....	26
Figura 37 - Robô finalizado com as pontes H fixadas no interior de uma caixa preta que por sua vez encontra-se parafusada na base do robô e a caixa do controle com duas chaves de três estados e o potenciômetro com o circuito do modulador PWM fixados em seu interior.....	27
Figura 38 - Vista 2 do robô móvel terrestre finalizado com a sua eletrônica de acionamento.....	28
Figura 39 - Vista em detalhe dos motores em suas respectivas rodas do robô.....	29
Figura 40 - Caixa de controle do robô.....	29

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho de formatura é sobre o projeto e fabricação de um robô que se desloca no plano comandado por um controle com um mecanismo de deslocamento composto de três pernas (com dois graus de liberdade cada) cada uma acoplada a uma roda. As rodas podem ser rotacionadas em torno do seu eixo ou do eixo da perna.

A seguir estarão expostos diferentes tipos de robôs e modelagem de sistemas de controle encontrados em artigos disponibilizados pelo IEEE.



Figura 1 - Robô terrestre que se desloca no plano.



Figura 2 - Segundo exemplo de robô terrestre que se desloca no plano.



Figura 3 - Um terceiro tipo de robô terrestre locomovendo-se no plano.



Figura 4 - Robô terrestre usado com câmeras e sensores especiais para detectar pessoas debaixo de até toneladas de escombros como em desabamentos.

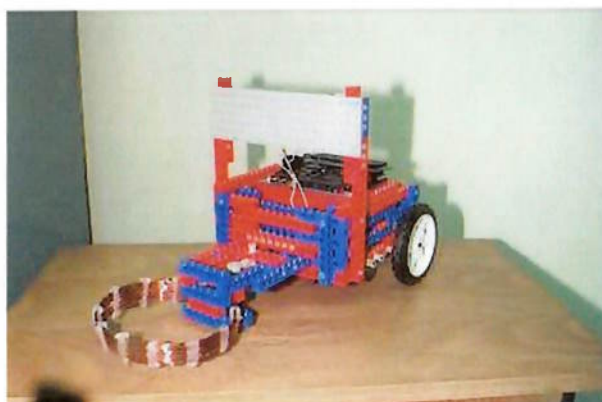


Figura 5 - Robô móvel terrestre utilizado na detecção de minas terrestres.



Figura 6 - Outro tipo de robô terrestre utilizado na detecção de minas terrestres e que se desloca através de dois fusos.

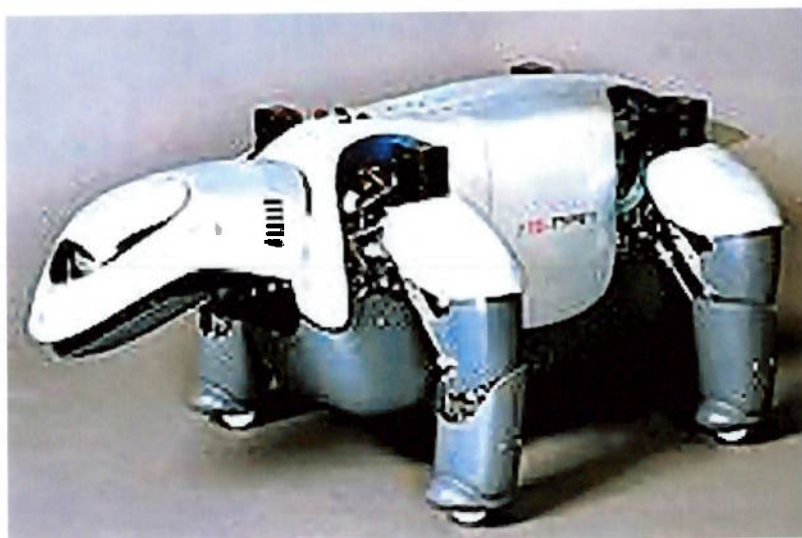


Figura 7 - Robô de brinquedo da Sanyo do tipo cão-de-guarda com câmeras.



Figura 8 - Robô aspirador de pó da Matsushita da sua linha doméstica.



Figura 9 - Robô aspirador de pó da iRobot que faz uso da mesma tecnologia de detecção de minas terrestres e foi o líder de vendas no natal de 2002 nos EUA vendido em sites de e-commerce por US\$200,00.



Figura 10 - Afghan Explorer robô desenvolvido no MIT dotado de laptop e câmeras de vídeo para ser controlado por um repórter em locais hostis como campos de guerra.

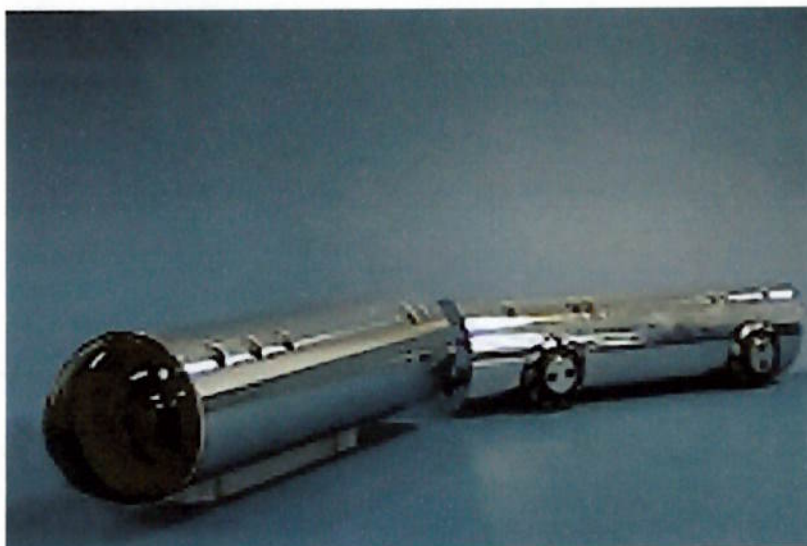


Figura 11 - Robô do tipo ROV (Remotely Operated Vehicle) usado na inspeção de tubulações de esgoto de pequeno diâmetro.



Figura 12 - Um segundo tipo de robô do tipo ROV (Remotely Operated Vehicle) utilizado na inspeção de tubulações de esgoto de pequeno diâmetro em uma versão monobloco, com câmera fixa.



Figura 13 - Robô do tipo ROV (Remotely Operated Vehicle) usado no reparo de tubulações.



Figura 14 - Um segundo tipo de robô ROV (Remotely Operated Vehicle) usado no reparo de tubulações.

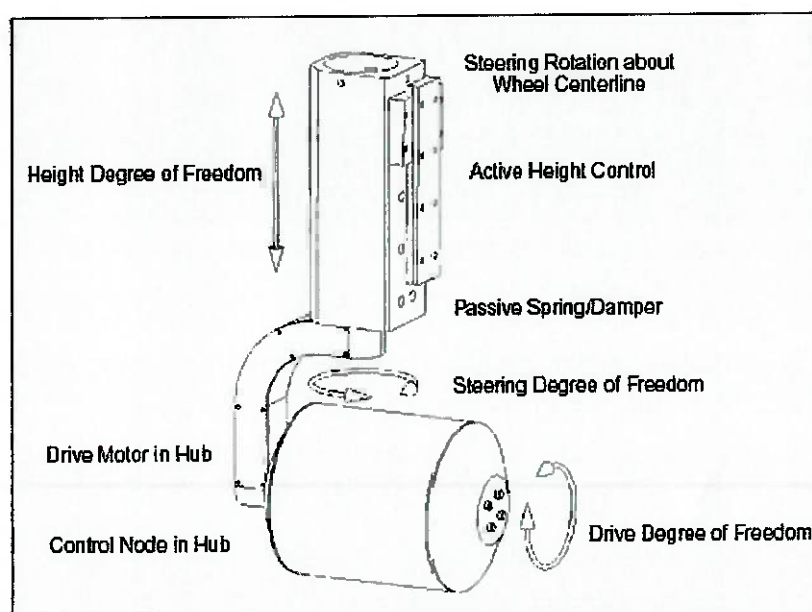


Figura 15 - Exemplo de mecanismo de movimento das rodas com três graus de liberdade.

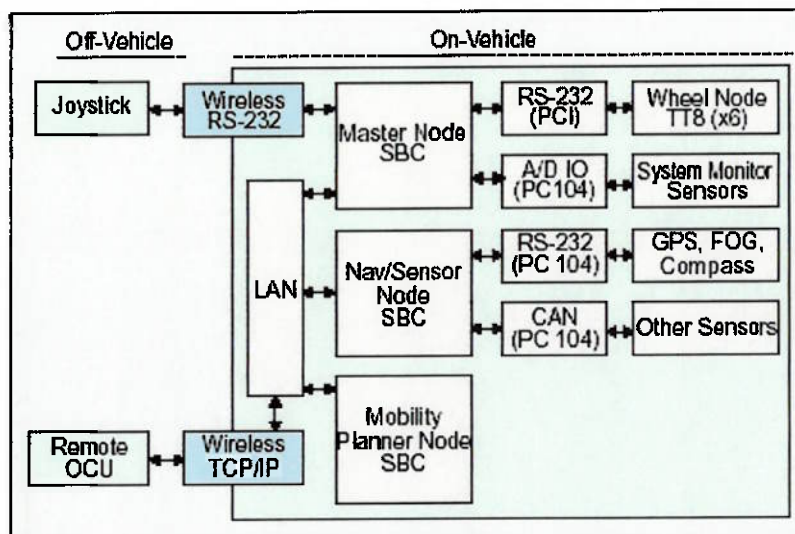


Figura 16 - Exemplo de arquitetura eletrônica do veículo.

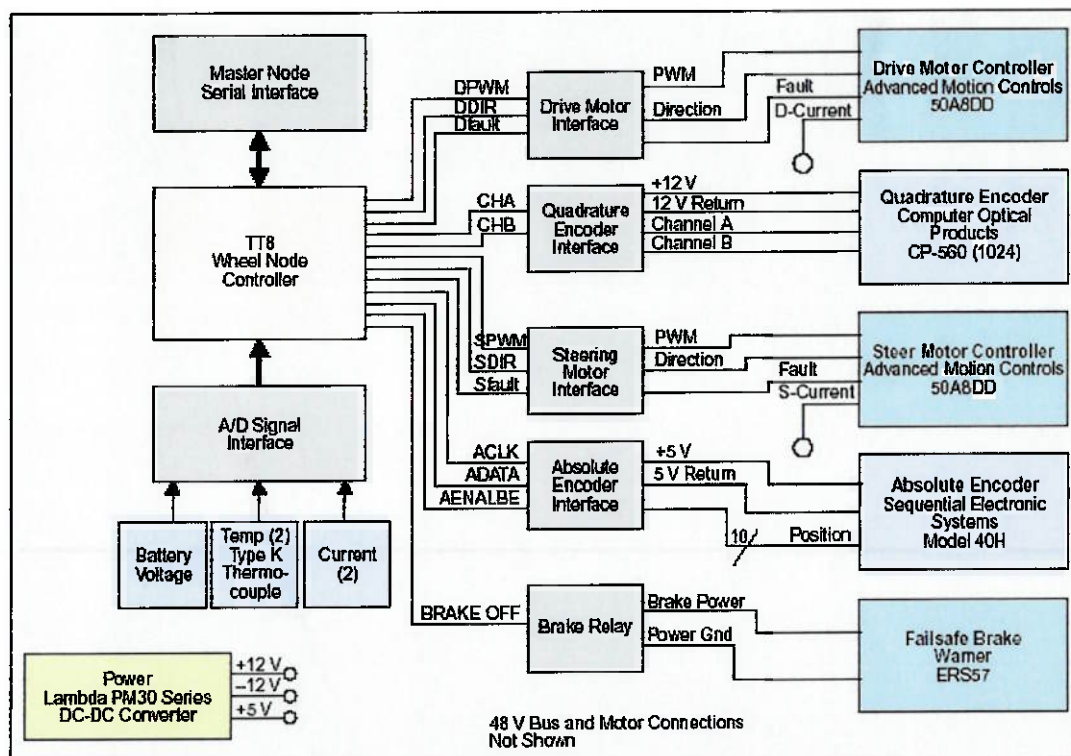


Figura 17 - Esquema da arquitetura de controle das rodas.

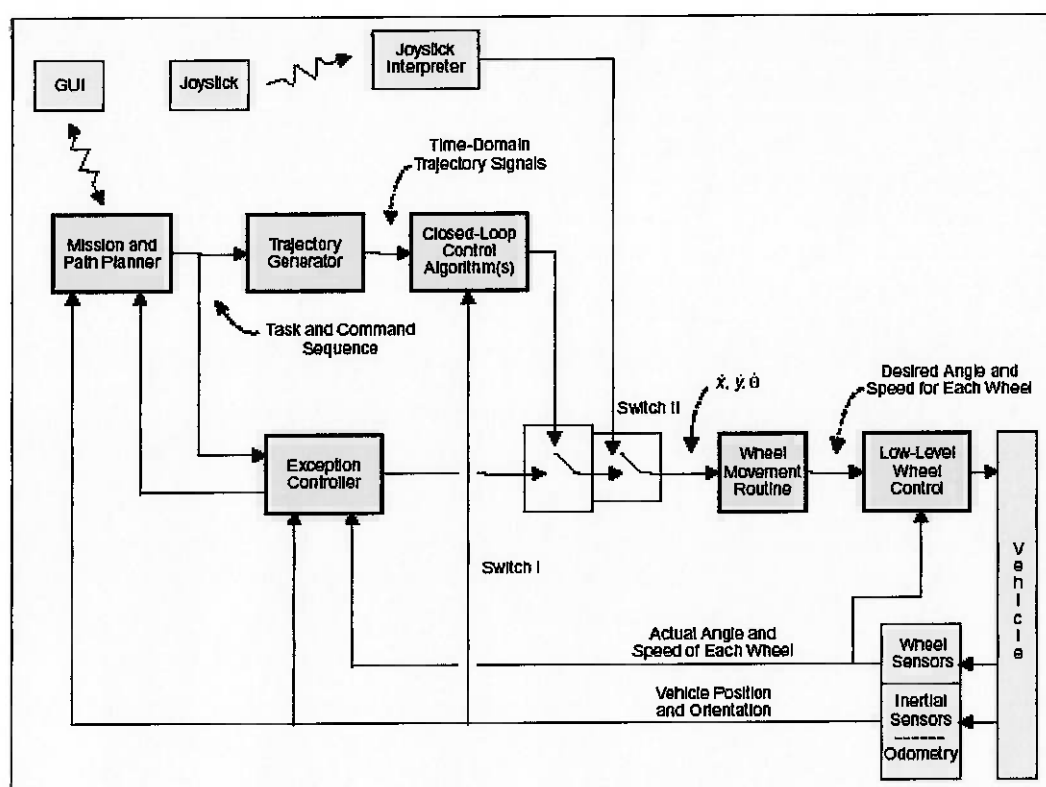


Figura 18 - Arquitetura do sistema de controle.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente, os avanços nas capacidades do projeto mecânico, tecnologias como o GPS, processamento computacional de algoritmos inteligentes para o planejamento e controle além dos aprimoramentos na microeletrônica, todos estes tornam possível fabricar robôs móveis e autônomos.

O projeto cinemático de um robô pode ser abordado de duas maneiras. Uma seria através da cinemática direta. Onde dado o mecanismo de locomoção determina-se o conjunto de equações que descrevem o deslocamento do robô com este tipo de mecanismo e assim com estas equações pode-se realizar o controle da trajetória do robô. Já com a cinemática inversa impõe-se uma determinada trajetória que o robô deve realizar e a partir desta projeta-se o mecanismo que viabilizará esse movimento.

O projeto do sistema de controle das rodas pode ser implementado através de um algoritmo para robôs do tipo *omni-directional*. Cada uma de suas rodas pode ser controlada de maneira independente. Inicia-se com a mecânica Newtoniana onde um modelo dinâmico deste veículo é obtido. Usando este modelo é possível desenvolver um controle linearizado com retroalimentação exata. Desta forma simulações e resultados experimentais confirmam a validade da análise e o projeto do controlador. O controle de cada mecanismo acoplado a cada roda é feito por processadores dedicados resultando no controle pleno da orientação e movimento do veículo (robô) no plano. A estratégia de controle utiliza três níveis no que resulta em um esquema de controle hierárquico que produz uma estratégia de geração de procedimento de múltipla resolução. Este esquema está ilustrado na figura a seguir:

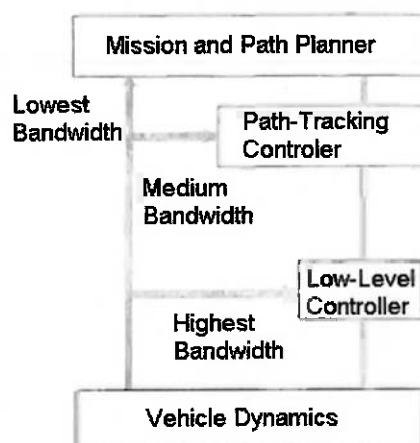


Figura 19 - Estratégia de controle hierárquico com resolução múltipla.

O robô pode ser controlado também por um joystick onde esta base poderia ser operada por seres humanos em indústrias ou hospitais, por exemplo. Usando este tipo de robô para uma cadeira de rodas, seria possível fornecer muito mais conforto ao seu usuário permitindo até em alguns casos subir escadas de degraus largos e baixos. Em contrapartida haveria o risco de colisões inesperadas o que poderia ser prevenido com a distribuição de sensores ao redor da cadeira. Um exemplo de sistema de controle de uma cadeira de rodas com os sensores, atuadores, controles e motores encontra-se demonstrado a seguir:

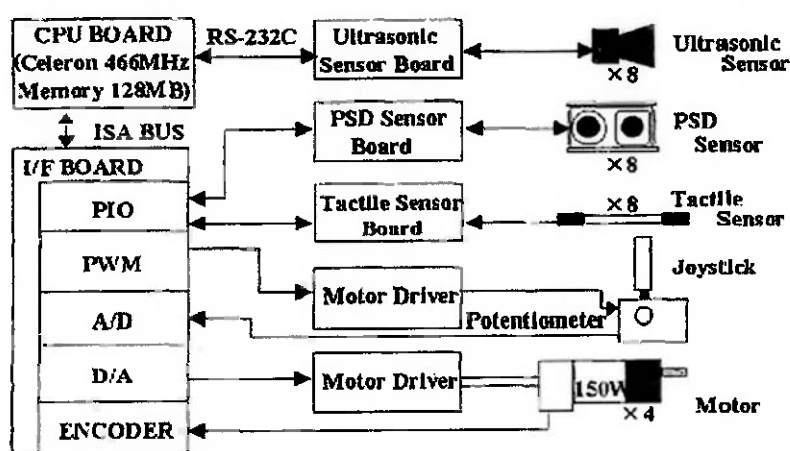


Figura 20 - Diagrama de blocos da cadeira de rodas.

3. OBJETIVOS

Este trabalho de formatura tem como objetivo a construção de um robô móvel terrestre que se movimenta em uma superfície plana em qualquer direção a partir de comandos de um controle de mão. E considerando o mecanismo presente em cada uma de suas rodas, assumindo que estas serão no total de três, o robô também poderá vir a subir e descer degraus de pequena altura de uma escada de acordo com a capacidade de torque em cada uma das suas rodas e da carga sobre ele. A velocidade do robô deverá ser controlada por um modulador PWM na malha de controle que regulará as tensões eficazes aplicadas nos motores e conseqüentemente a velocidade de rotação das rodas.

4. JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento deste projeto permitirá o uso deste tipo de robô para o transporte em geral em uma indústria ou em um hospital, por exemplo. O uso deste robô possibilitará implementar uma cadeira de rodas controlada por um joystick ou ainda usando rodas com ímãs permanentes estas permitirão usá-lo em inspeções de tubulações como as de um oleoduto. Para o aluno, este projeto abordado como trabalho de formatura, servirá para reforçar e expandir a sua formação na área de controle em situações reais, projeto e fabricação de robôs móveis terrestres e flexibilização do projeto para diferentes necessidades.

5. METODOLOGIA

O trabalho seguirá a seguinte divisão de etapas desde a sua concepção até a sua finalização:

1. Concepção do mecanismo (pernas).
2. Projeto mecânico do mecanismo (pernas);
3. Fabricação do mecanismo (pernas).
4. Concepção do robô.
5. Projeto mecânico do robô.
6. Fabricação do robô.
7. Projeto da eletrônica de acionamento.
8. Construção da eletrônica de acionamento.
9. Testes finais para avaliação do protótipo construído.

6. CONCEPÇÃO DO ROBÔ

6.1 Projeto mecânico

Determinou-se que este robô teria um motor em cada uma de suas três rodas e um quarto motor sobre o chassi acionando a rotação de um dos três eixos por um par de engrenagens de mesmo diâmetro primitivo. Uma correia dentada por sua vez traciona três polias dentadas com cada uma destas montadas sobre um eixo responsável pelo direcionamento de cada roda distribuídas em cada um dos três vértices de um triângulo equilátero imaginário para maximizar o balanceamento na estrutura. A rotação do motor conectado à polia motora possibilitará a rotação dos eixos das três rodas simultaneamente e com isto o robô poderá deslocar-se em direções perpendiculares e diagonais. Os cálculos para a determinação do torque e da rotação necessários para cada motor de cada roda estão demonstrados a seguir.

Considerando que cada motor pesará aproximadamente 155 gramas, que a bateria utilizada na alimentação dos motores terá um peso em torno de 5 Kilogramas, que o robô poderá ter uma carga adicional de 2 Kilogramas, que ele deverá deslocar-se a uma velocidade de 1m/s sobre rodas de raio de 5 centímetros com o coeficiente de atrito das borrachas destas rodas adotado como 0,5 ($\mu=0,5$) tem-se que:

- a massa total do robô incluindo a sua estrutura será de 13500 gramas ou 13,5 Kg;
- a força normal sobre cada uma das três rodas será dada por $F_{\text{Nroda}} = 13,5\text{Kg} \times 9,81\text{m/s}^2 \times (1/3) = 44,15\text{N}$;
- considerando uma aceleração de 5m/s^2 para que o robô chegue a 1m/s em 0,2s obtém-se uma força de inércia de $F_{\text{INÉRCIA}} = 13,5\text{Kg} \times 5\text{m/s}^2 = 67,5\text{N}$ sendo que em cada roda atuará $(F_{\text{INÉRCIA}}/3) = 22,5\text{N}$;
- o torque para cada motor em cada roda é determinado com:

$$T_{\text{MOTOR}} = F_{\text{roda}} \times R_{\text{RODA}} \times \mu_{\text{borracha}} = (44,15\text{N} + 22,5\text{N}) \times 0,05\text{m} \times 0,5$$

$$T_{\text{MOTOR}} = 1,66625\text{N.m};$$
- para as rotações em rpm a velocidade é de 1m/s portanto $v = \omega \times R$ e com isto $\omega = (1\text{m/s})/(0,05\text{m}) = 20\text{ rads/s}$ ou $n=191\text{ rpm}$;
- para os eixos submetidos a estes esforços de torção, flexão e compressão

efetuando o cálculo para determinar o seu diâmetro de acordo com a análise de fadiga com um fator de segurança de 1,5, aplicando o Critério de Von Misses e usando a lei de Goodman e fatores de concentração de tensão devido a um adoçamento de raio de 5,6mm, o diâmetro obtido foi cerca de 50% menor do que o necessário (garantindo assim a durabilidade de cada eixo) para acoplar o eixo ao rolamento que fora selecionado considerando as cargas axiais e radiais estando ilustrado mais adiante;

- para o projeto do par de engrenagens de alumínio com o mesmo diâmetro primitivo de 80mm, seguindo a norma AGMA, com a fórmula $S_n = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S_n'$, onde S_n' é o limite de resistência à fadiga do corpo de prova no teste de flexão rotativa em MPa, S_n é o limite de resistência à fadiga do dente da engrenagem em MPa, K_a é o fator de superfície, K_b é o fator de tamanho, K_c é o fator de confiabilidade, K_d é o fator de temperatura, K_e é o fator de concentração de tensões, K_f é o fator de efeitos diversos. Adotou-se $K_a=0,9$, $K_b=1,0$ pois $p=25,4\text{dentes/polegada} > 5\text{dentes/polegada}$, $K_c=0,753$ para uma confiabilidade de 0,999, $K_d=1,0$ pois a temperatura da engrenagem estará abaixo dos 70°C , $K_e=1,0$ para engrenagens, $K_f=1,0$ para flexão alternada dos dentes da engrenagem pois ela poderá girar nos dois sentidos, com isto obteve-se $S_n=67,77\text{MPa}$ e com o fator de segurança na engrenagem de 3,2 tem-se uma tensão admissível de 21,18MPa para 10^8 ciclos de funcionamento. A velocidade da circunferência primitiva é $V=15,1\text{m/min}$, $K_v=27,575/[27,575+(V)^{0,5}]=0,877$, $J=0,375$ fator geométrico da AGMA para 80 dentes com ângulo de pressão de 25° , para um motor de 25Watts a 60rpm obtém-se $W_t=25\text{N.m/s}/(\pi \cdot 0,08\text{m} \cdot 60/60\text{s})=99,5\text{N}$, $p=1\text{dente/mm}$ e $\sigma=21,18\text{MPa}$. A largura do denteado $b=W_t \cdot p / (K_v \cdot J \cdot \sigma)=14,29\text{mm}$, ou seja, $b=15\text{mm}$. Como o passo frontal é $p_t=\pi \cdot d/Z=3,14$, $3p_t=9,4248\text{mm}$, $5p_t=15,708\text{mm}$ e como $3p_t < b=15\text{mm} < 5p_t$, a engrenagem com $\phi_{\text{PRIM}}=80\text{mm}$, 80 dentes e largura do denteado com 15mm é considerado um bom projeto de engrenagem segundo a norma AGMA;

- a correia dentada selecionada para o motor da engrenagem projetada é a 800 5M com 15mm de largura e as três polias dentadas de alumínio com uma rosca transversal M4 no cubo de cada uma para o travamento no eixo são do modelo 50 5M 15 todos obtidos em *Correias Schneider*;

- a potência do motor é dada por $P_{ot} = T_{MOTOR} \times \omega = 33,33 \text{ W}$.

Com isto os motores que serão adquiridos devem atender aos requisitos mínimos de um torque de 1,66625N.m e uma rotação de 191 rpm.

A seguir encontram-se duas figuras dos motores seleccionados, sendo que estes apresentam um torque superior ao especificado atendendo às necessidades do projeto assim como também à rotação necessária.

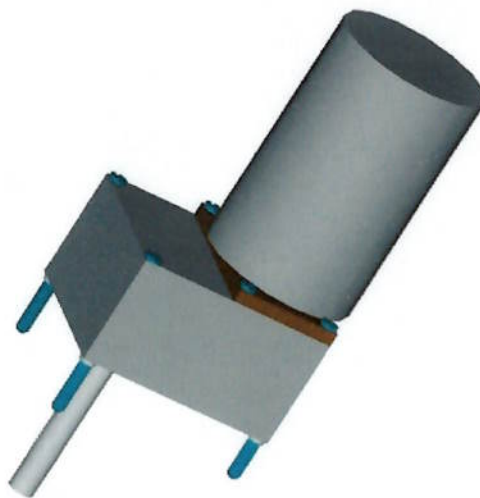


Figura 21 - Motor seleccionado para as rodas: P4742 (203-13575), fabric. AJMaia.

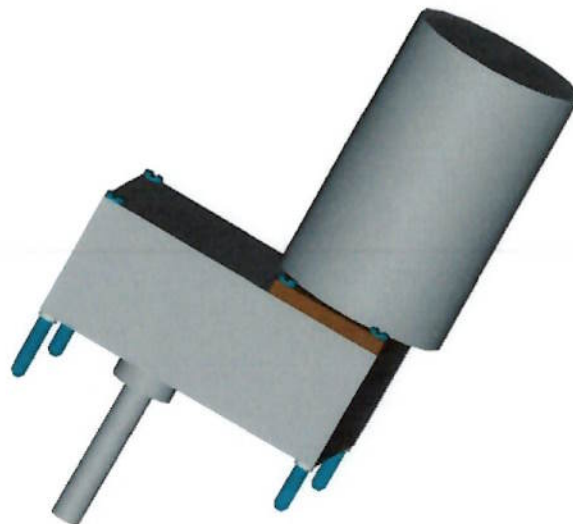


Figura 22 - Motor para direccionar as rodas: G6242 (203-9735), fabricante AJMaia.

Considerando a força normal como a componente axial nos rolamentos cônicos escolhidos para dar alta rigidez com folgas mínimas aos eixos direcionadores das rodas, e associando a força de atrito e a de inércia em cada roda como sendo as cargas radiais nos rolamentos cônicos foi selecionado em uma etapa preliminar o modelo 30202-J2 de rolamento cônico no manual do fabricante SKF segundo o seu roteiro para a seleção de rolamentos.

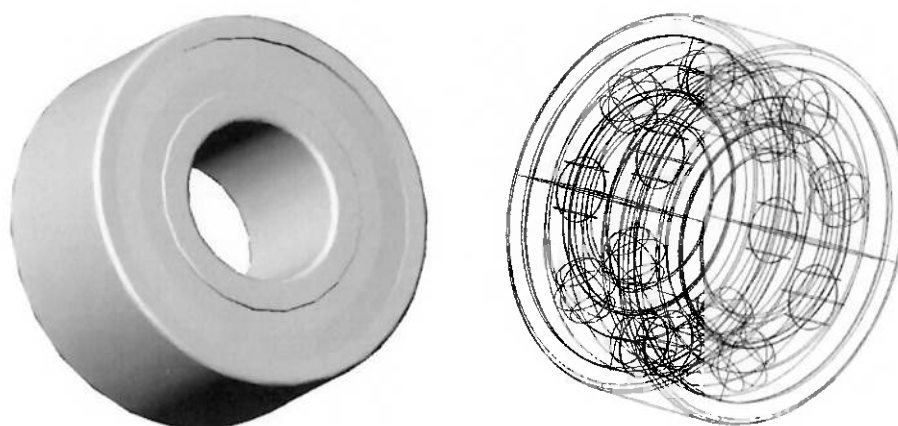


Figura 23 - Rolamento de contato angular com duas carreiras de esferas 3202B-2RSRTNG, fabricante: NSK.

A seguir encontram-se duas vistas do desenho do projeto mecânico do robô terrestre.

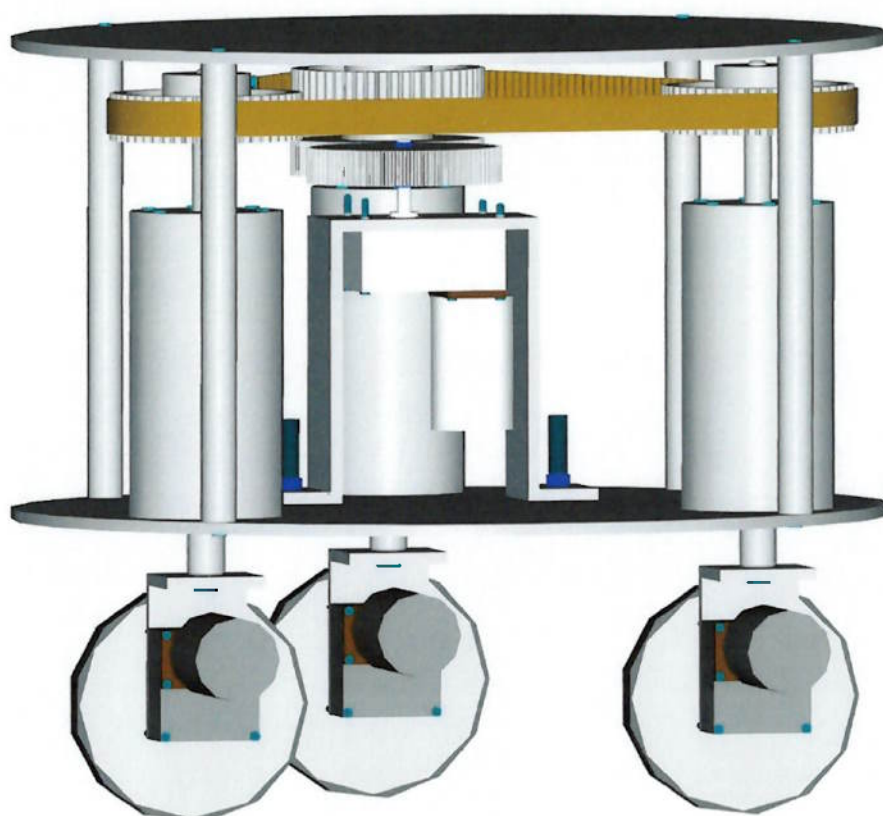


Figura 24 - Vista 1 do projeto mecânico.

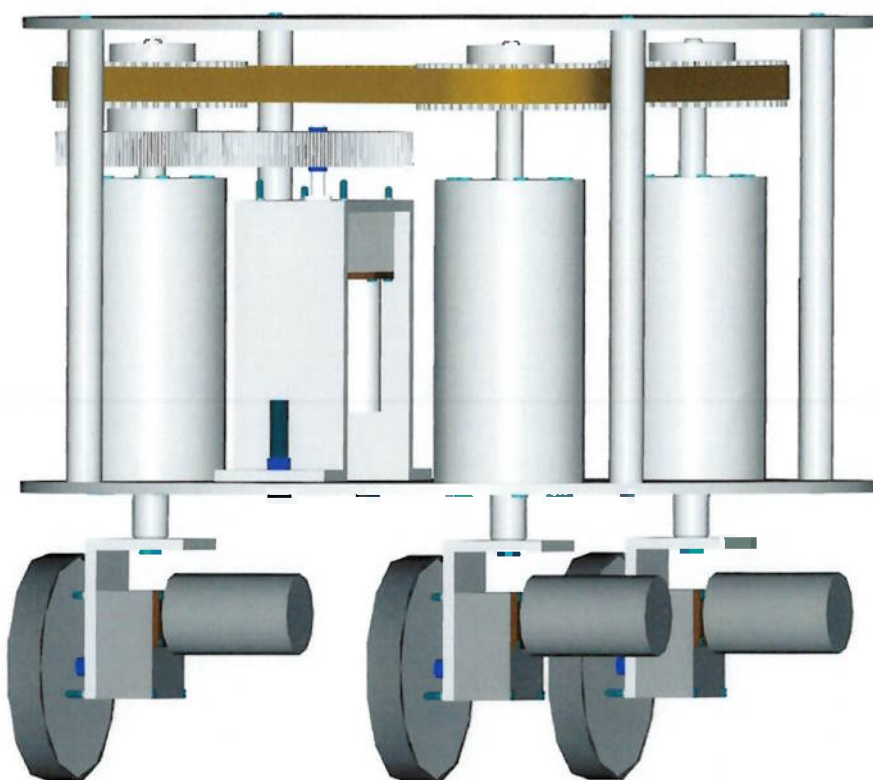


Figura 25 - Vista 2 do projeto mecânico.

E executada a fabricação das peças de acordo com os desenhos de fabricação em anexo no final do documento obteve-se as peças e o protótipo mecânico montado conforme se pode observar nas fotos abaixo.

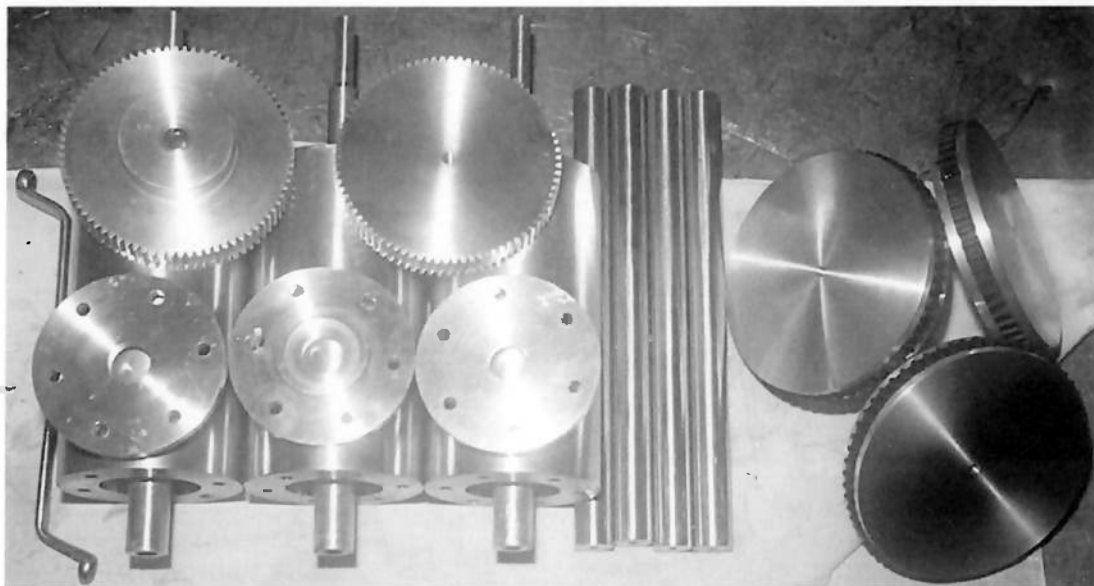


Figura 26 - Peças fabricadas e dos eixos já montados com os rolamentos nos cilindros.

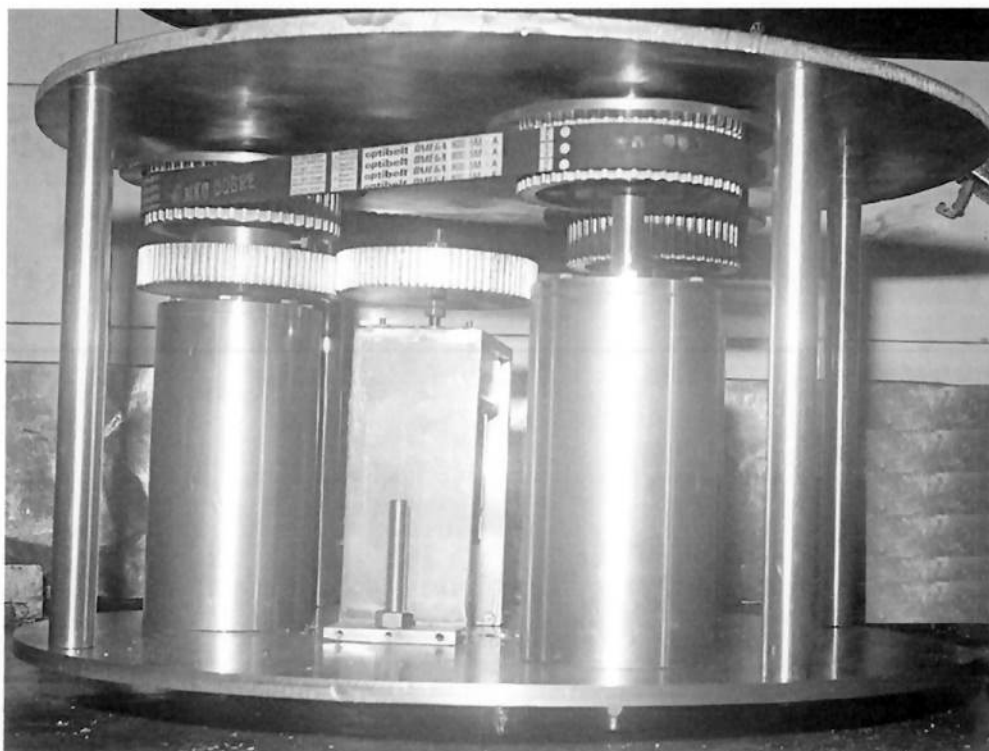


Figura 27 - Peças fabricadas montadas entre as placas superior e inferior.



Figura 28 - Montagem dos suportes dos motores com as suas respectivas rodas.



Figura 29 - Vista 1 do protótipo mecânico fabricado e montado.



Figura 30 - Vista 2 do protótipo mecânico fabricado e montado.



Figura 31 - Vista 3 do protótipo mecânico fabricado e montado.

6.2 Eletrônica de acionamento

Neste item encontram-se descritos de forma sucinta as pontes H, que permitem os motores girem nos dois sentidos, e o modulador PWM, que através de uma onda retangular aumenta ou diminui a tensão eficaz aplicada em cada um dos quatro motores de escova DC 12V e com isto aumenta ou diminui a velocidade de rotação destes. Foram feitas duas pontes H para o acionamento dos motores, a primeira apenas para o acionamento do quarto motor G6242 (203-9735), responsável pelo direcionamento das rodas, a segunda ponte H foi utilizada para o acionamento simultâneo dos três motores conectados em suas respectivas rodas. Na ponte H do motor direcionador foram utilizados dois transistores TIP122 e dois TIP127 sendo estes por sua vez compatíveis com a corrente necessária para alimentá-lo. Na segunda ponte H utilizada para o acionamento simultâneo dos três motores da base como a corrente era significativamente superior à suportada pelos **TIPs 122 e 127** utilizou-se quatro **MOSFETs IRFZ48N**. O esquema do circuito da ponte H ilustrado logo abaixo:

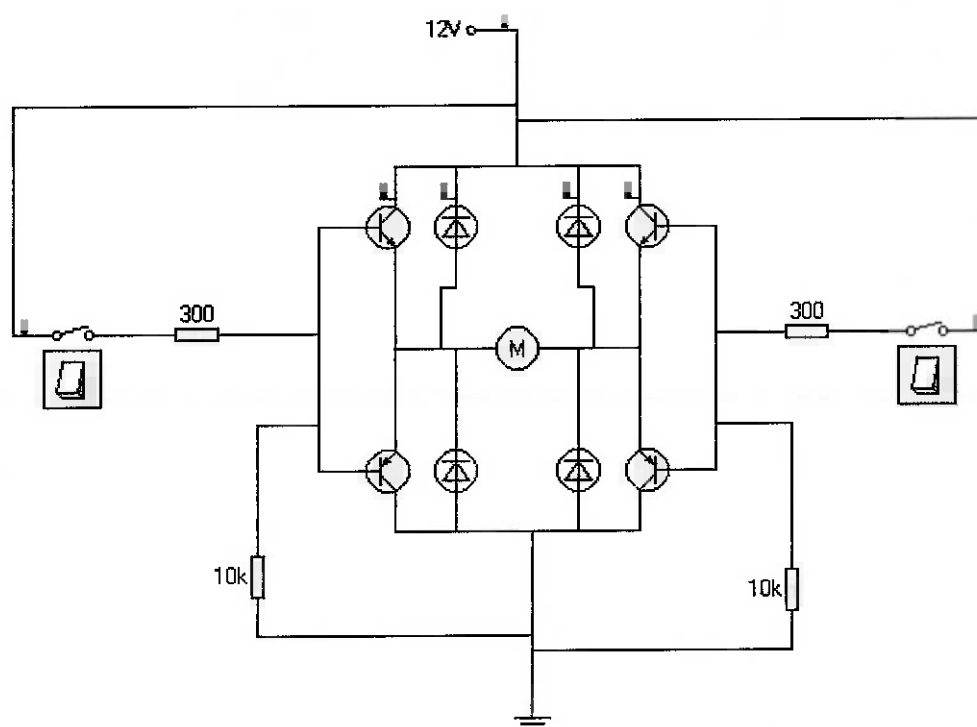


Figura 32 - Esquema do circuito da ponte H.

No esquema anterior o diodo **1N4001** é utilizado para absorver o campo magnético reverso produzido quando o motor é desligado, e só deve ser utilizado quando os transistores não possuem diodos internos. Nas duas pontes H feitas tanto os transistores **TIPs 122** e **127** quanto os **MOSFETs IRFZ48N** possuíam um diodo interno o que tornou desnecessário o uso de diodos. É importante ressaltar o uso de resistores no gate dos transistores para limitar a corrente os atravessa, caso contrário estes queimariam assim que a chave fosse ligada. Ao todo para fabricar cada ponte H foram necessários:

- Placa de circuito impresso
- 2 **Tips 122** ou 2 **MOSFETs IRFZ48N** para os motores das rodas
- 2 **Tips 127** ou 2 **MOSFETs IRFZ48N** para os motores das rodas
- 4 Resistores de 300 ohms 1/4 W
- 4 Resistores de 10 K 1/4 W
- 1 Conector Phoenix 500 de 3 Vias (um conector verde para prender cabos)

A seguir encontram-se as fotos de uma ponte H construída:

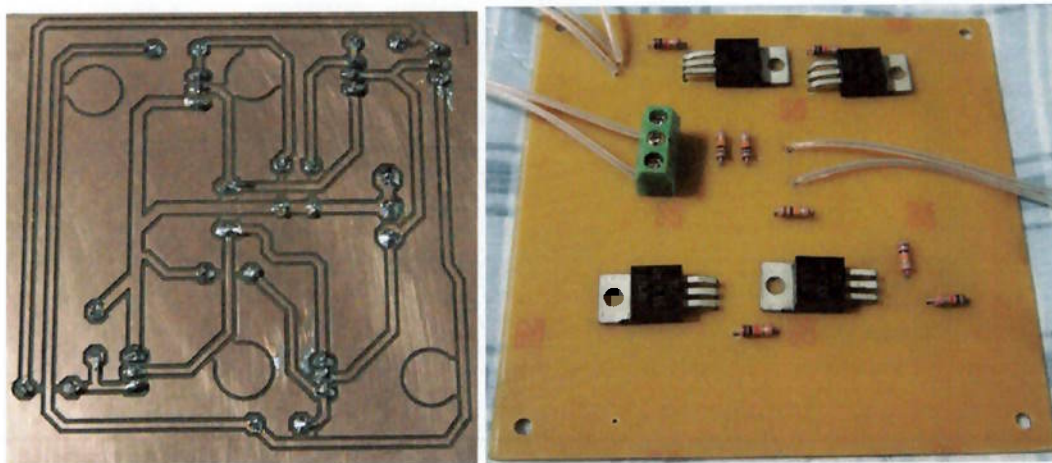


Figura 33 - Face das trilhas à esquerda e dos componentes à direita de uma ponte H.

Para o controle da velocidade dos motores conforme dito anteriormente utilizou-se um modulador PWM em um circuito onde através de um potenciômetro que quando girado altera uma resistência do circuito mudando as frações do período da onda retangular da tensão aplicada nos motores alterando os períodos nos quais os motores estão ligados e ligados. Com isto altera-se a tensão eficaz aplicada nos

motores o que permite alterar e controlar a velocidade destes. O esquema do circuito do modulador PWM é mostrado a seguir:

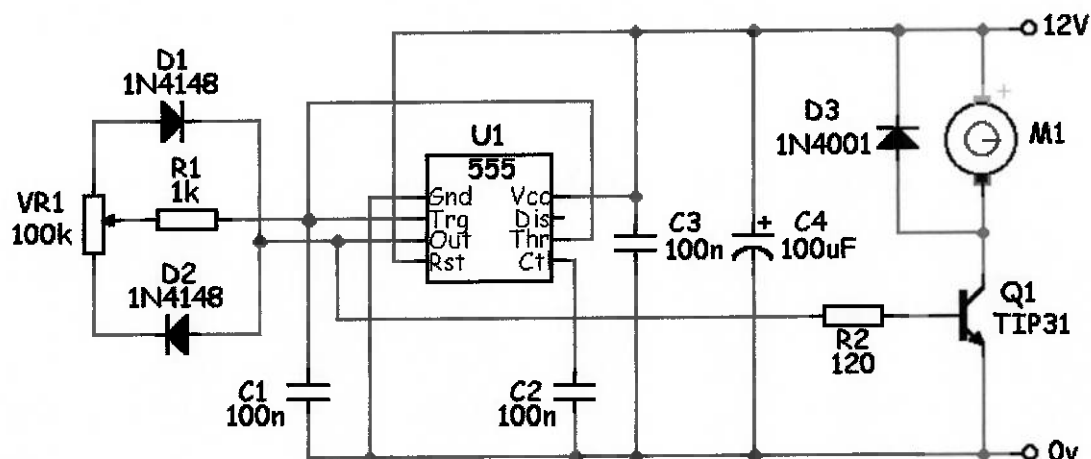


Figura 34 - Esquema do circuito do modulador PWM utilizando o chip 555.

O funcionamento do circuito é simples. Considerando uma situação onde há uma corrente continua sempre presente na base do transistor Q1 e que essa corrente seja suficiente para saturar o transistor, nesse caso o motor M1 sempre estará ligado na velocidade máxima. Agora assumindo que de tempos em tempos, se inicie o envio de um pulso em nível 0, e esse pulso em nível baixo dure cada vez mais tempo, e o pulso em 12 V por sua vez dure cada vez menos tempo, com isso o motor diminui a sua velocidade pois a tensão eficaz aplicada em seus terminais foi reduzida. Essa diferença da largura do pulso entre o pulso baixo e pulso alto faz com que a velocidade do motor varie, e é este o princípio usado neste circuito. O controle da largura destes pulsos é possível através do potenciômetro VR1. Para o robô o transistor TIP31 foi substituído pelas pontes H pois desta forma tornou-se possível controlar além da velocidade de rotação dos motores mas também o sentido de rotação destes. A seguir a lista dos componentes:

- U1 - NE555N timer, 8-pin DIL socket (opcional)
- Q1 - TIP29A, TIP31A ou IRF530
- D1, D2 - 1N4148 ou BAT42 diodos
- D3 - 1N4001 ou UF4001 diodo (opcional)
- R1 - 1k 0.25W 10% ou superior

- R2 - 120R 0.25W 10% ou superior
- VR1 - 100k 16mm lin PCB pot
- C1 - 100nF mylar film or ceramic disc
- C2, C3 - 100nF mylar film or ceramic disc
- C4 - 100uF 16v radial electrolytic

Abaixo se encontram as fotos do protótipo do modulador PWM fabricado e conectado a uma das pontes H onde no final o modulador também foi conectado à outra ponte H.

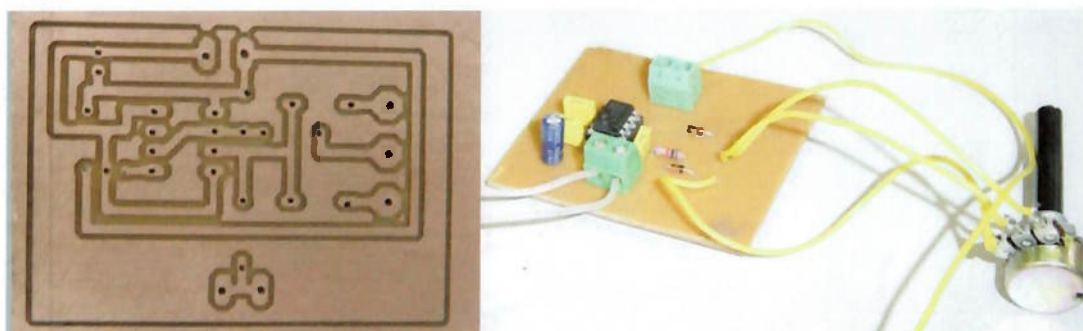


Figura 35 - Face das trilhas à esquerda e dos componentes à direita do PWM.

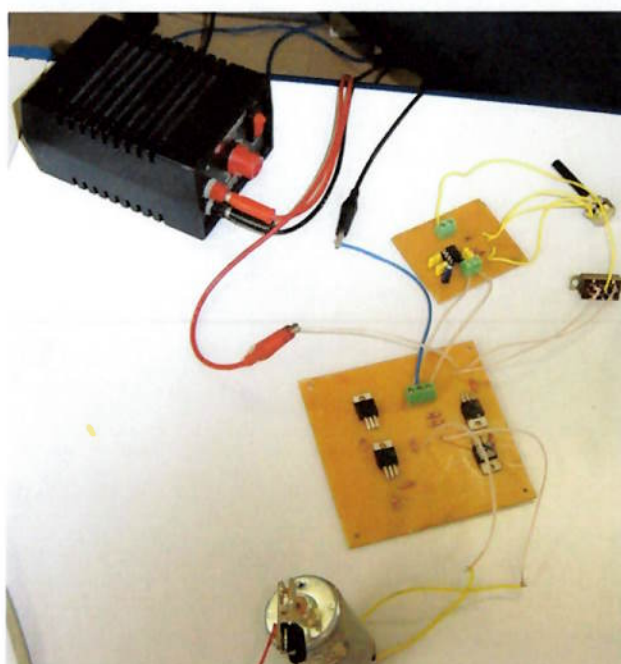


Figura 36 - Modulador PWM conectado a uma ponte H que por sua vez está alimentada por uma fonte DC de 12V e conectada a um motor DC para testes.

Finalizando as ilustrações da eletrônica de acionamento do robô abaixo se encontram fotos das pontes H montadas em uma caixa fixada na base do robô e do controle do robô que consisti em uma caixa conectada ao robô por cabos com 3 metros de comprimento. No interior da caixa do controle estão fixadas duas chaves de três estados uma para os três motores das rodas e sua respectiva ponte H e a outra para o quarto motor direcionador e sua ponte H, está fixado também o potenciômetro, acessível para regular a velocidade dos motores com o circuito do modulador PWM fixado internamente na lateral da caixa do controle.

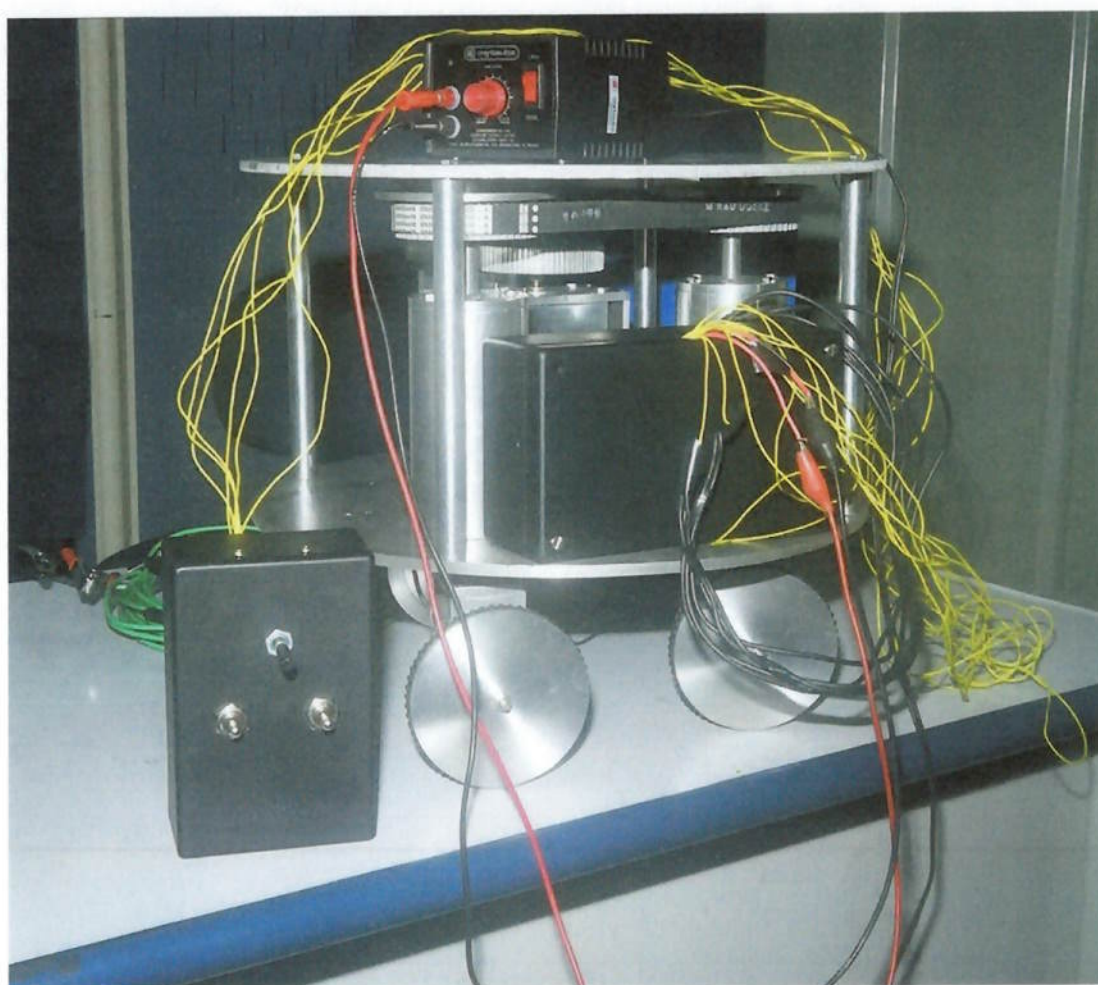


Figura 37 - Robô finalizado com as pontes H fixadas no interior de uma caixa preta que por sua vez encontra-se parafusada na base do robô e a caixa do controle com duas chaves de três estados e o potenciômetro com o circuito do modulador PWM fixados em seu interior.



Figura 38 - Vista 2 do robô móvel terrestre finalizado com a sua eletrônica de acionamento.

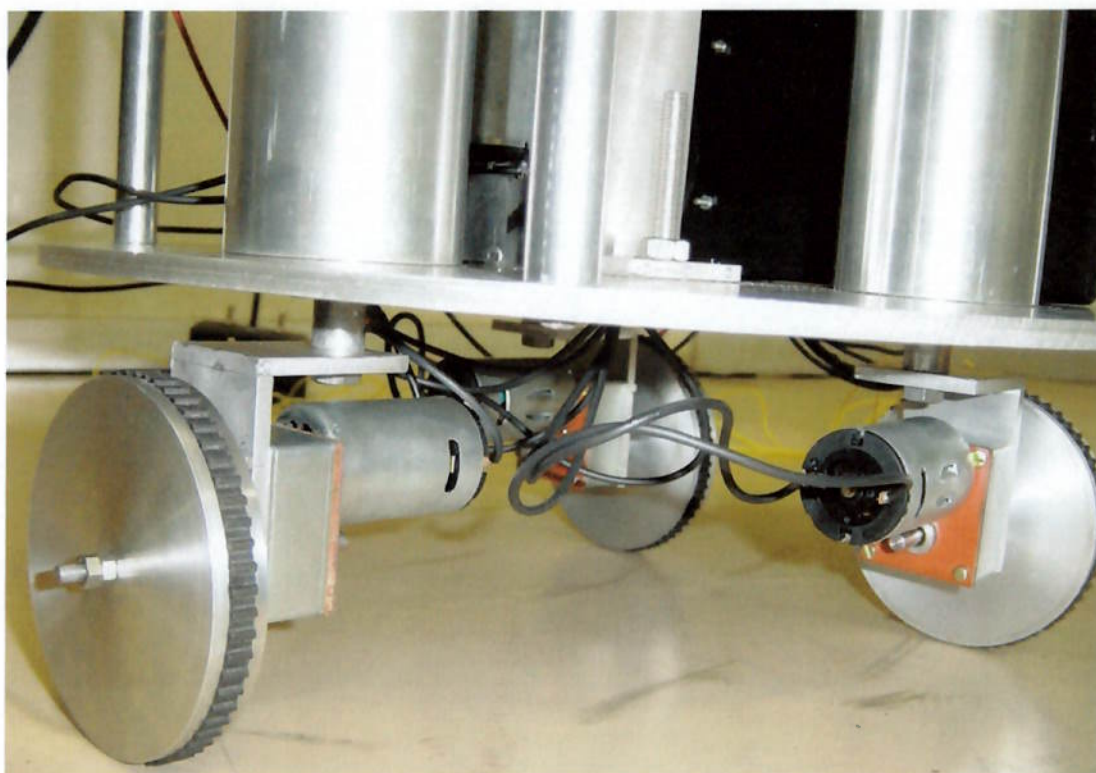


Figura 39 - Vista em detalhe dos motores em suas respectivas rodas do robô.

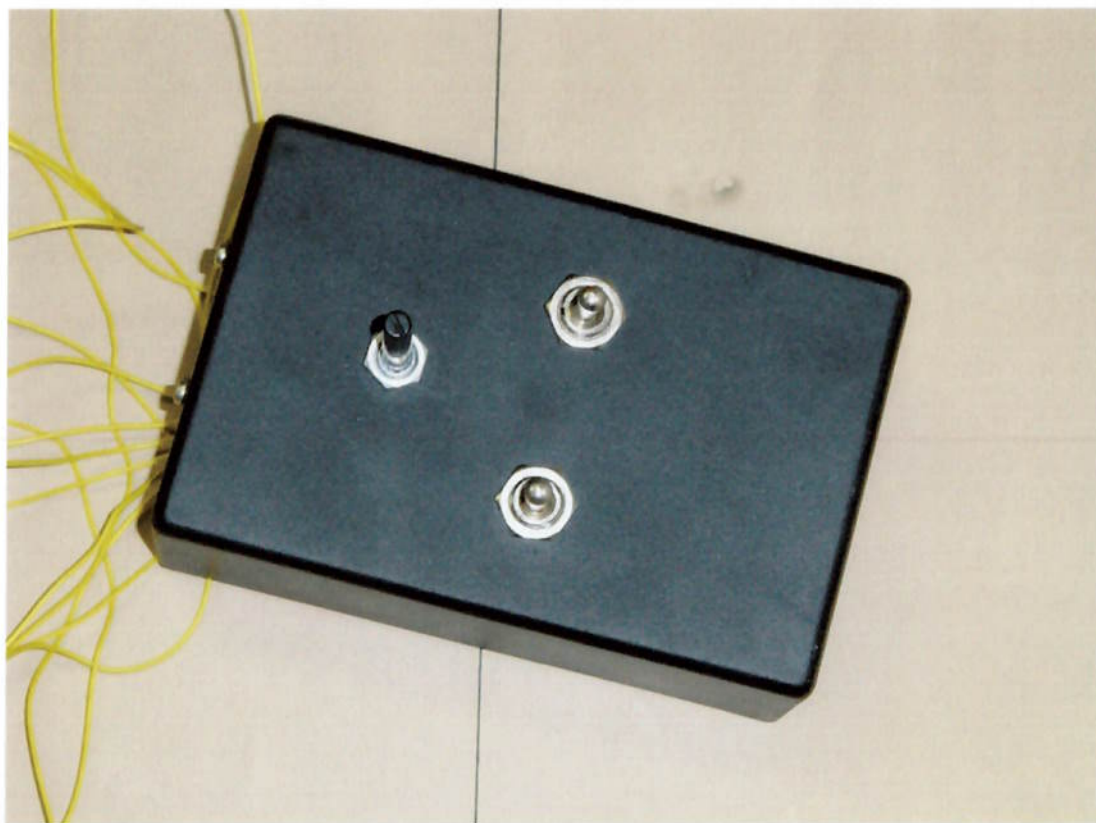
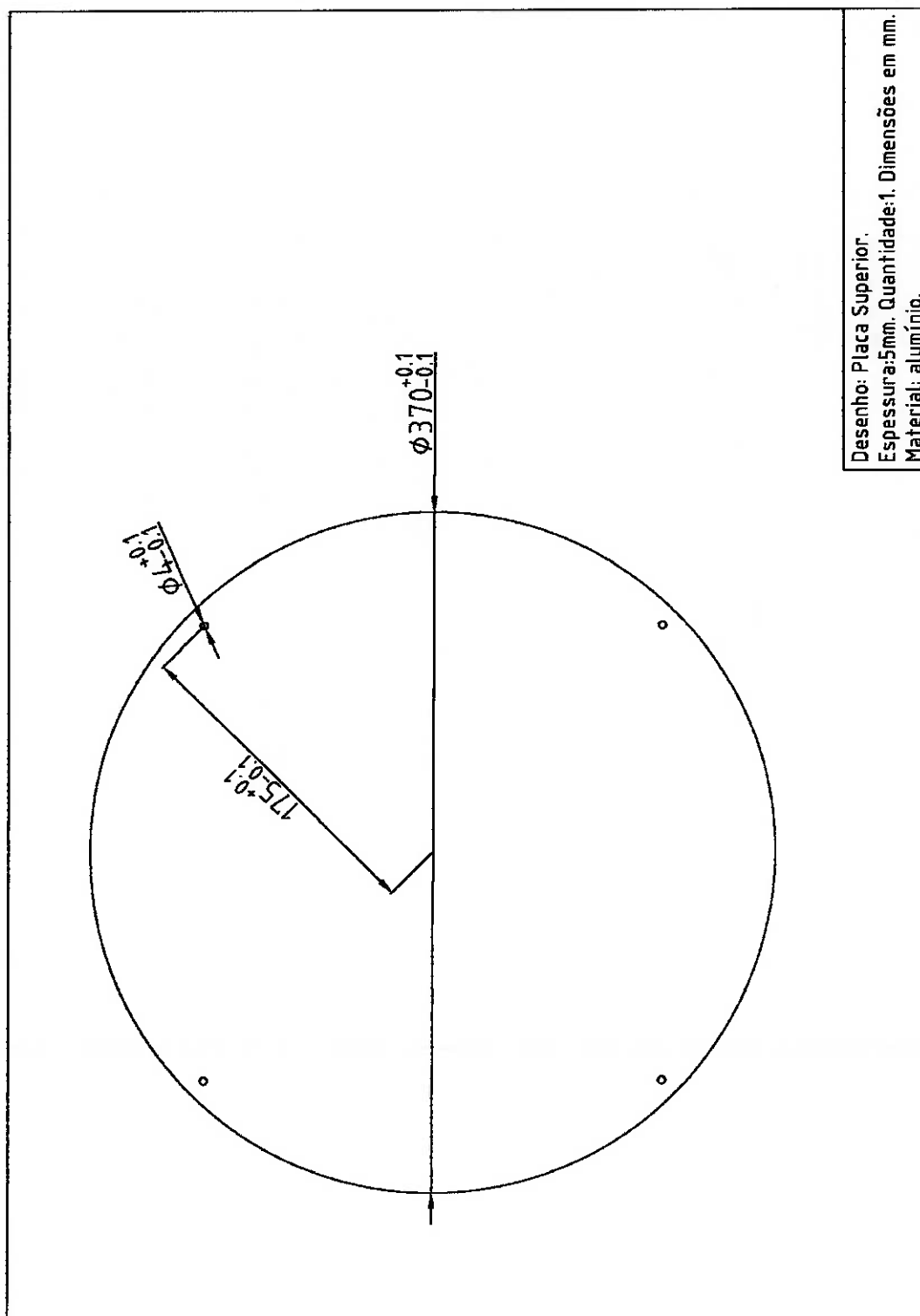


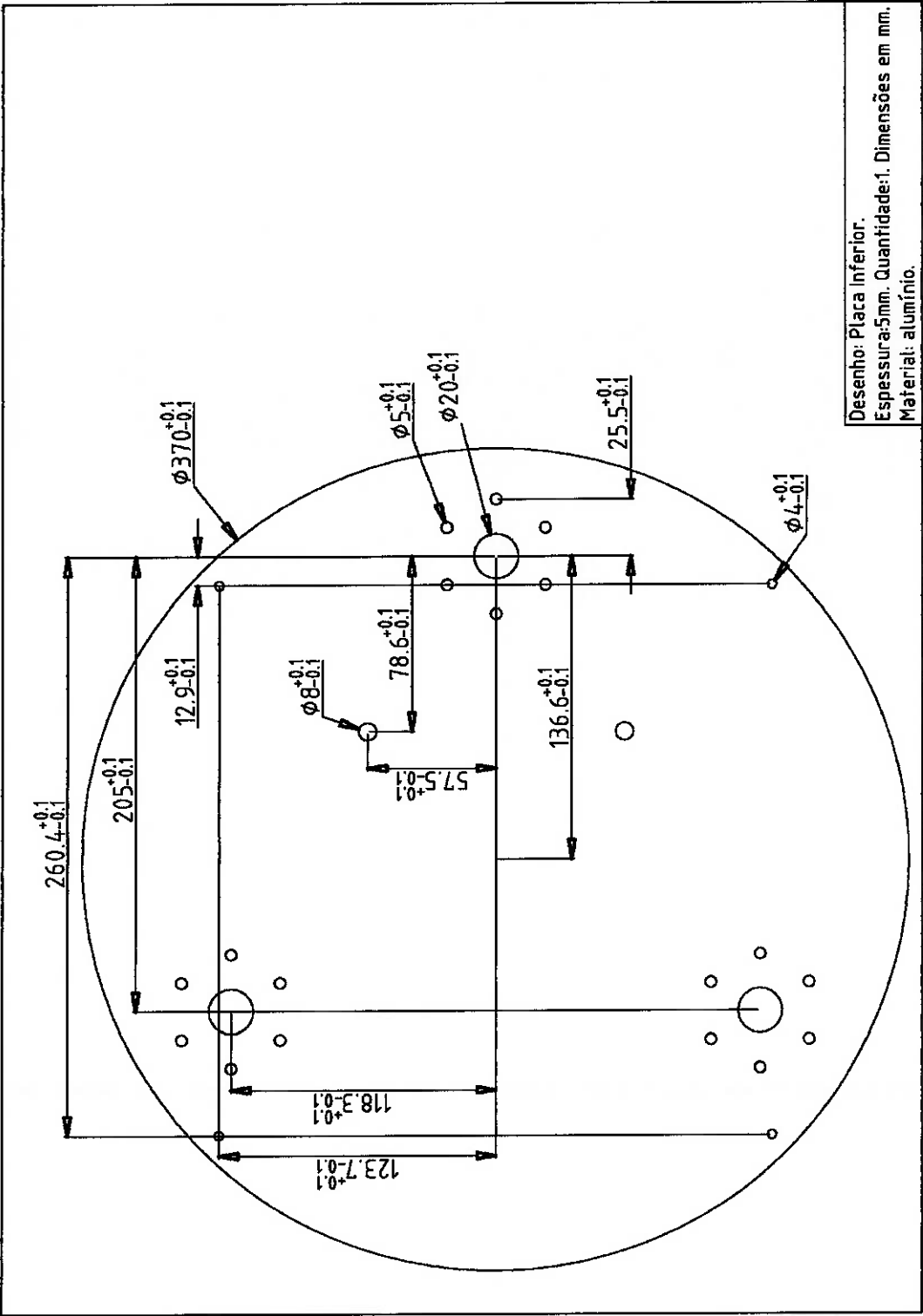
Figura 40 - Caixa de controle do robô.

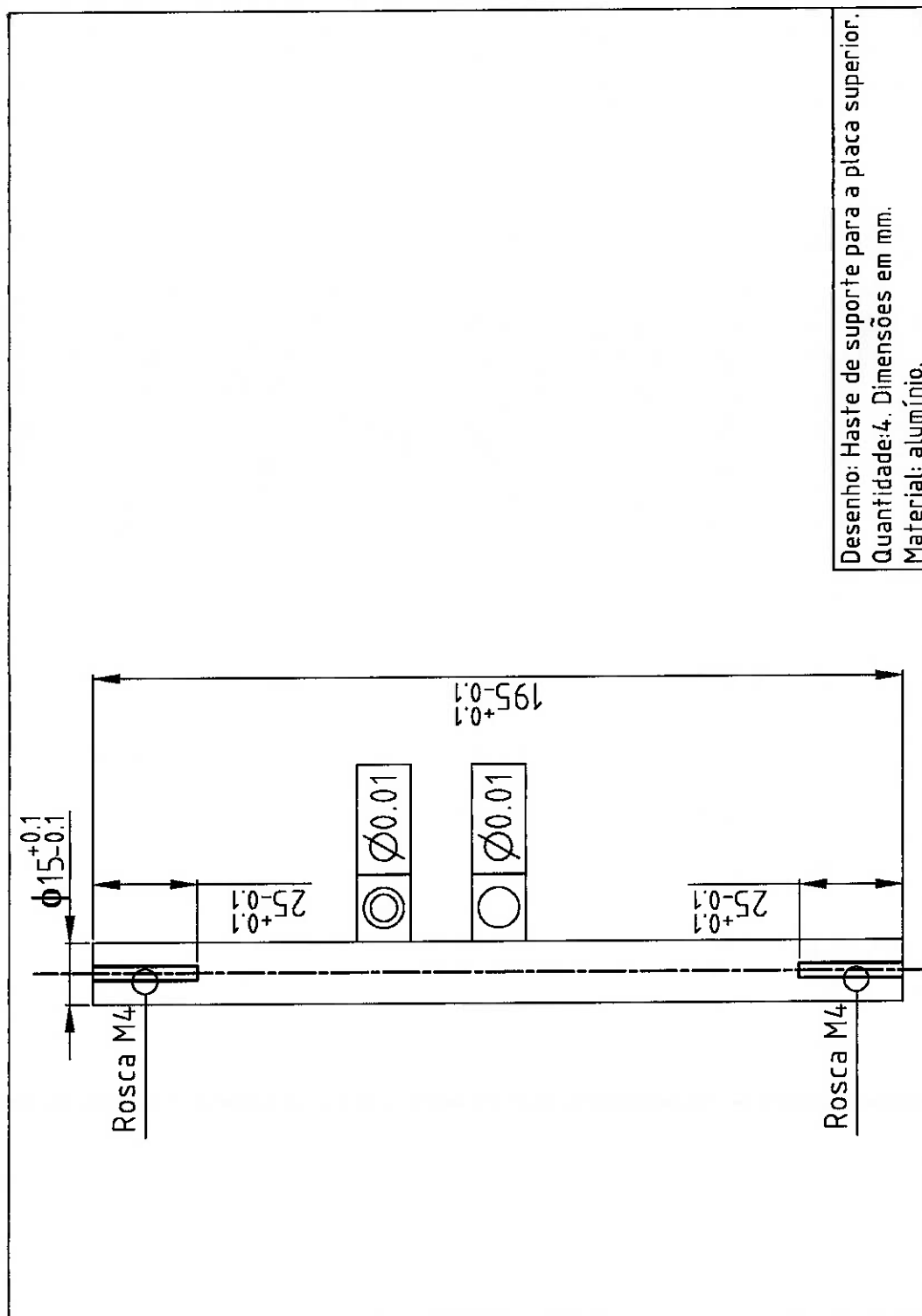
7. CONCLUSÕES

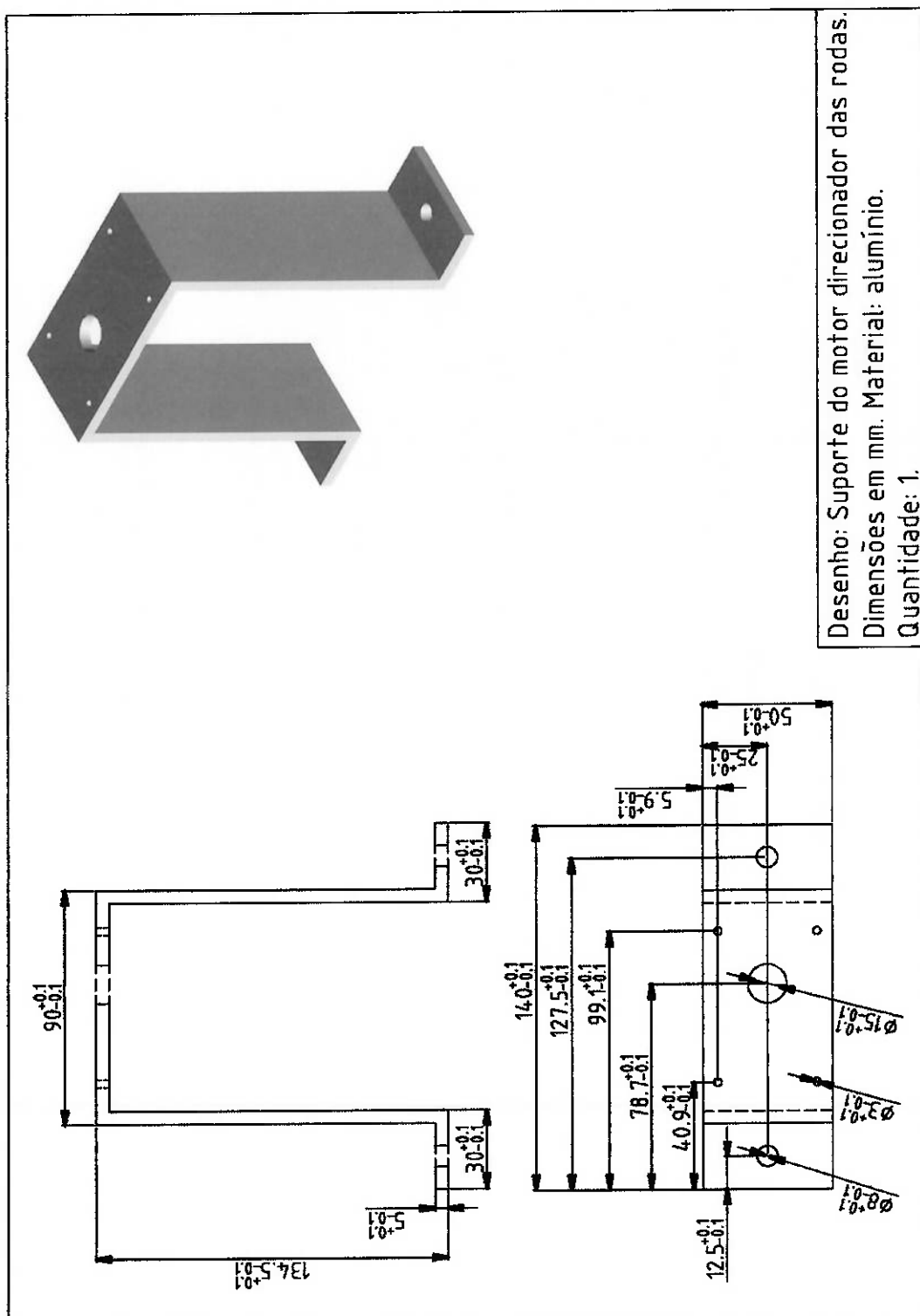
No decorrer do projeto mecânico do robô foi fundamental a realização de constantes avaliações sobre a redução da massa da estrutura sem comprometer a rigidez da mesma uma vez que os motores apresentavam uma capacidade limitada. Mas com a redução da carga que a estrutura aplica nestes motores a rigidez da mesma não poderia ser afetada significativamente.

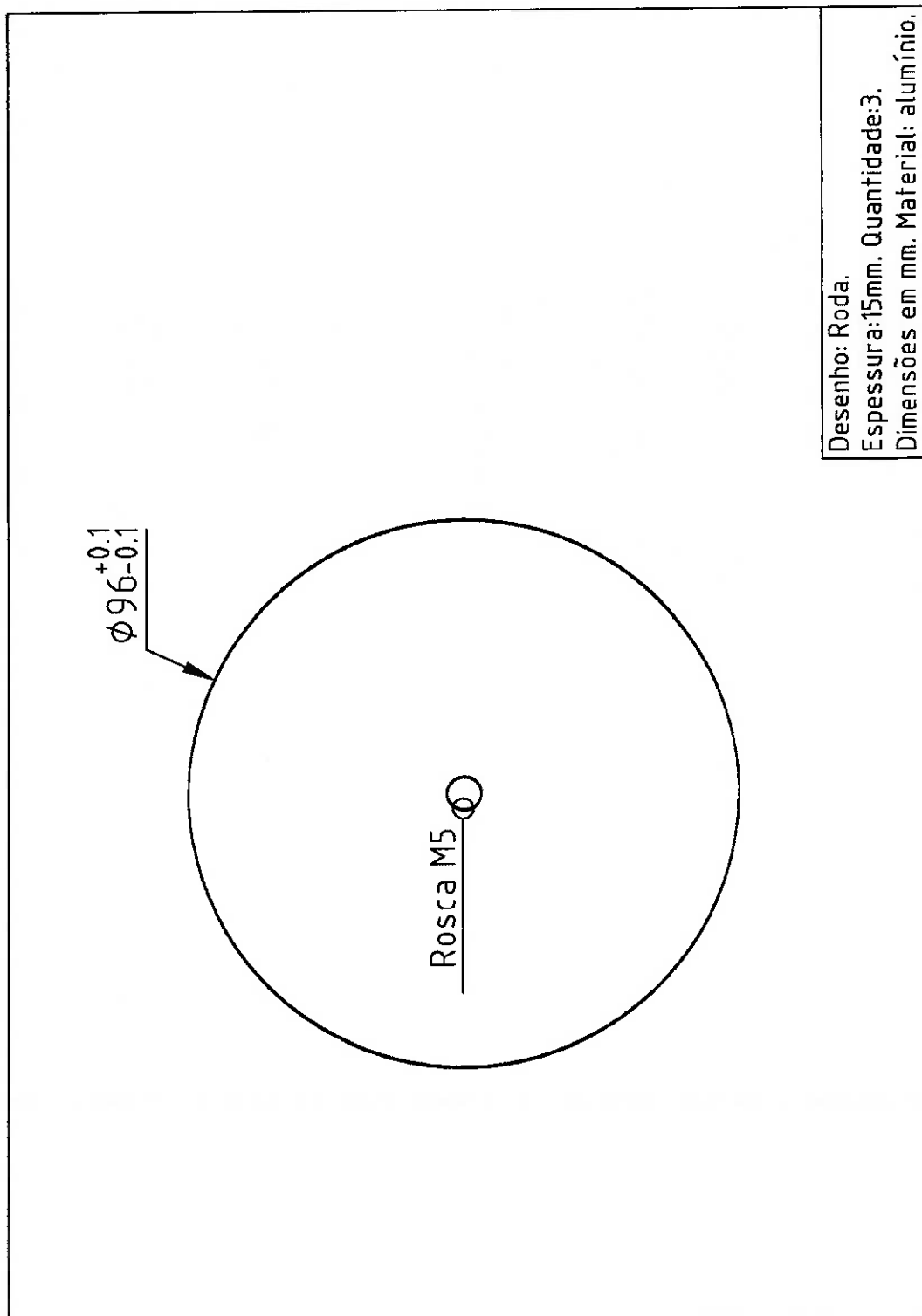
Com o projeto da eletrônica de acionamento precisou-se da estimativa do torque que cada motor estaria desenvolvendo para que se obtivesse a corrente que cada motor estaria solicitando e com isto escolher adequadamente os transistores e os demais componentes nos circuitos produzidos.

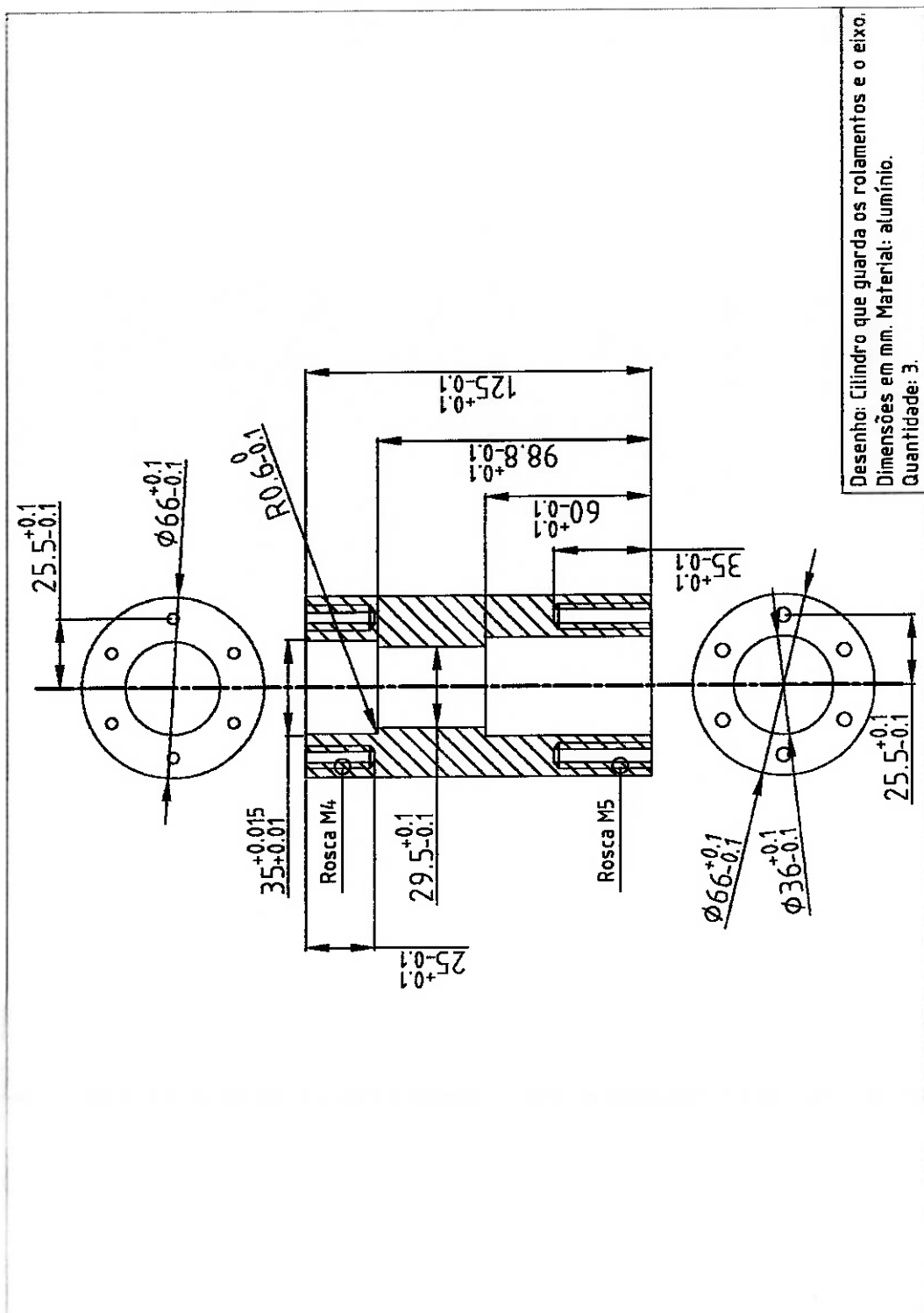
8. ANEXOS - DESENHOS DE FABRICAÇÃO E VISTAS DE CORTES

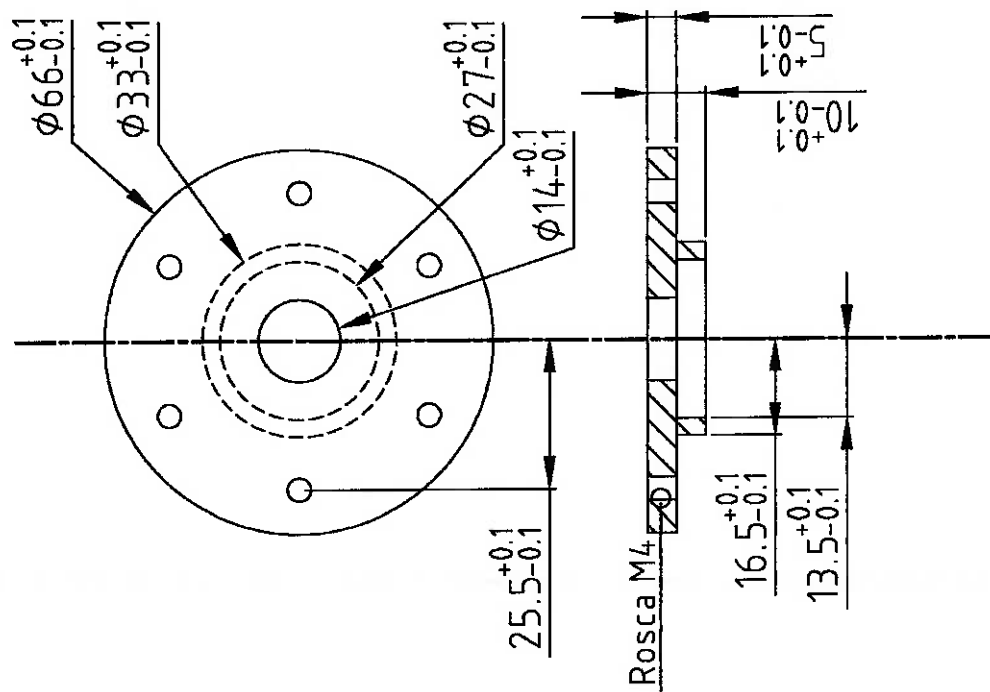




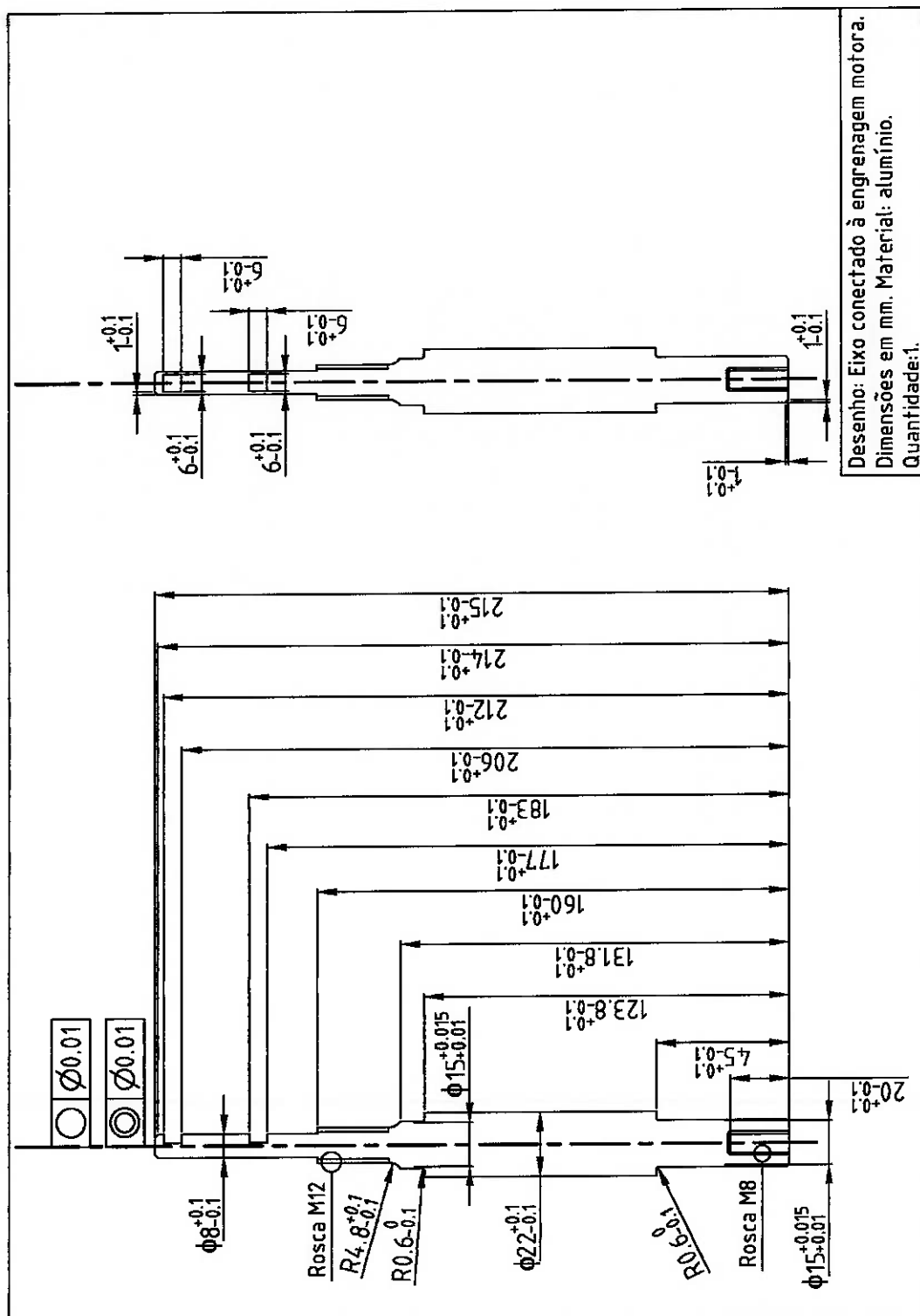


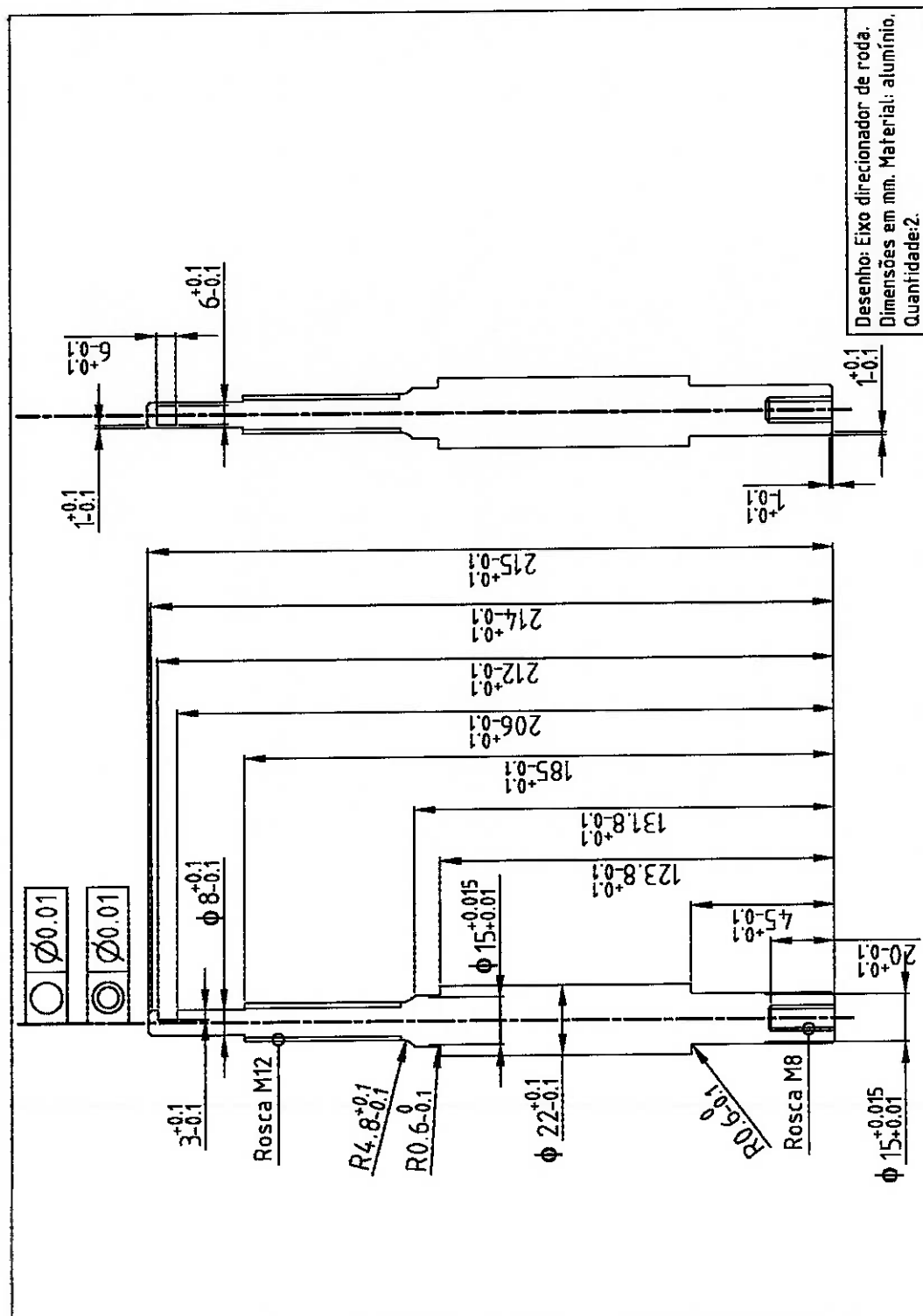


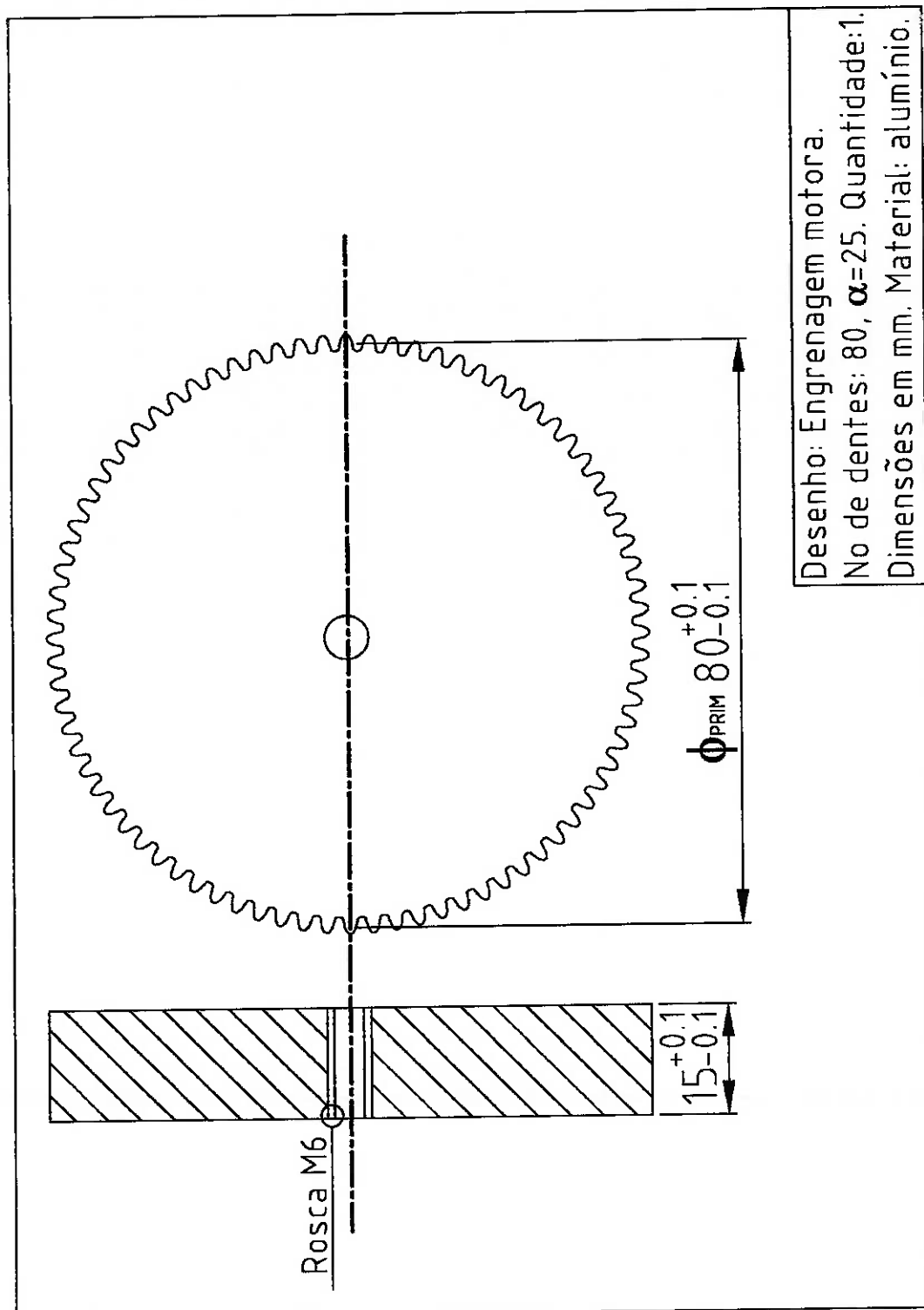


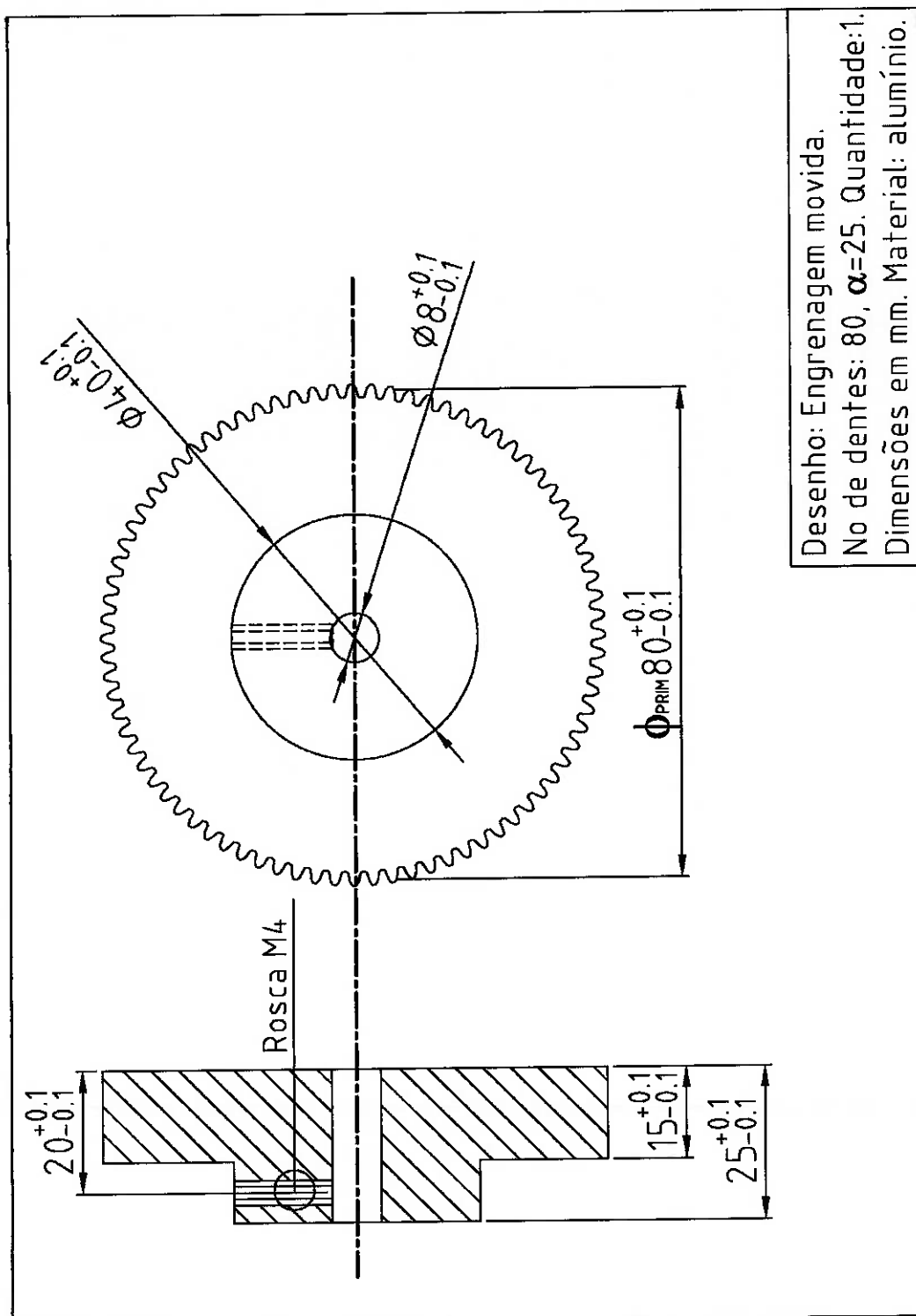


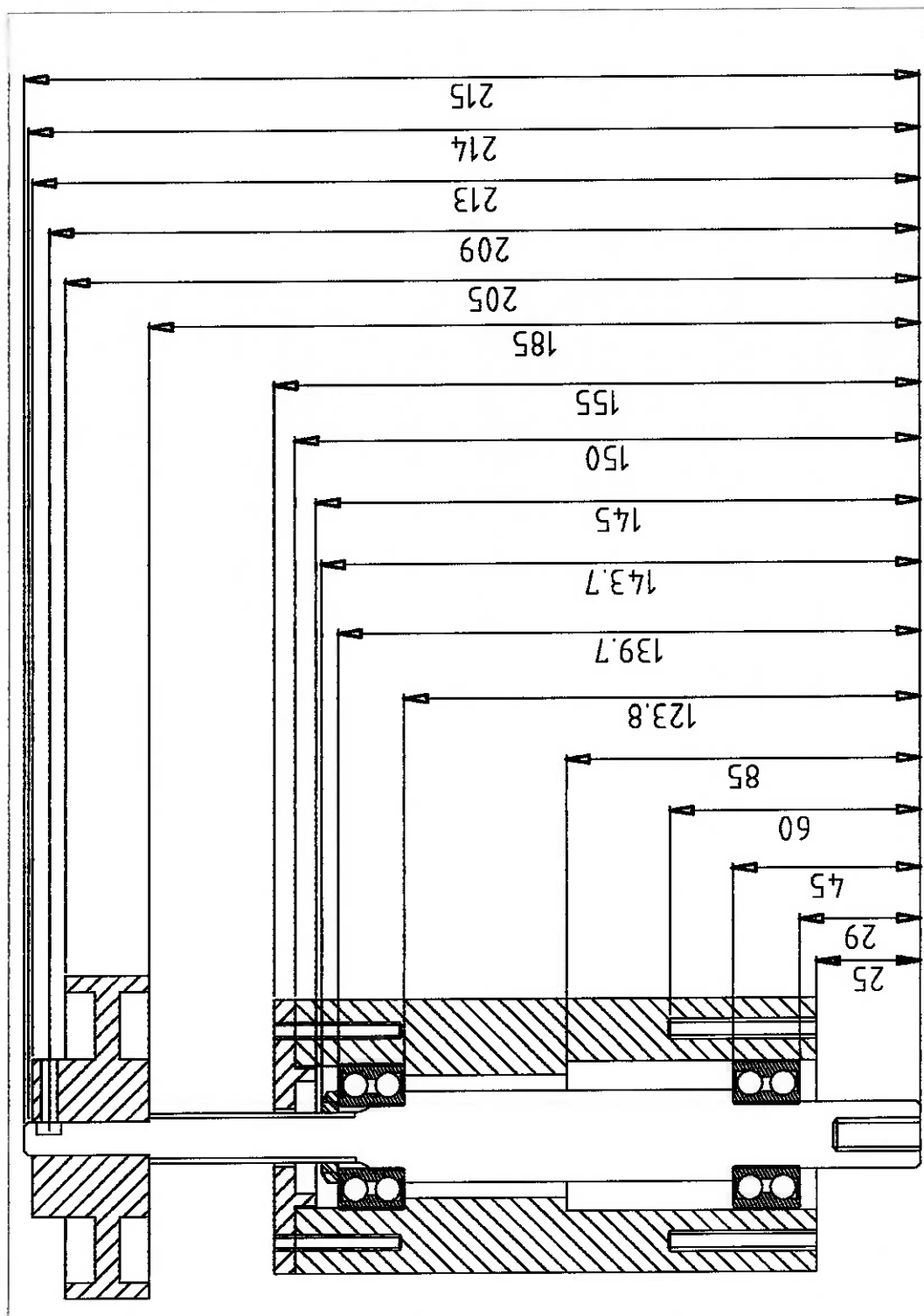
Desenho: Tampa do cilindro que guarda os rolamentos e o eixo. Quantidade: 3. Dimensões em mm. Material: alumínio.

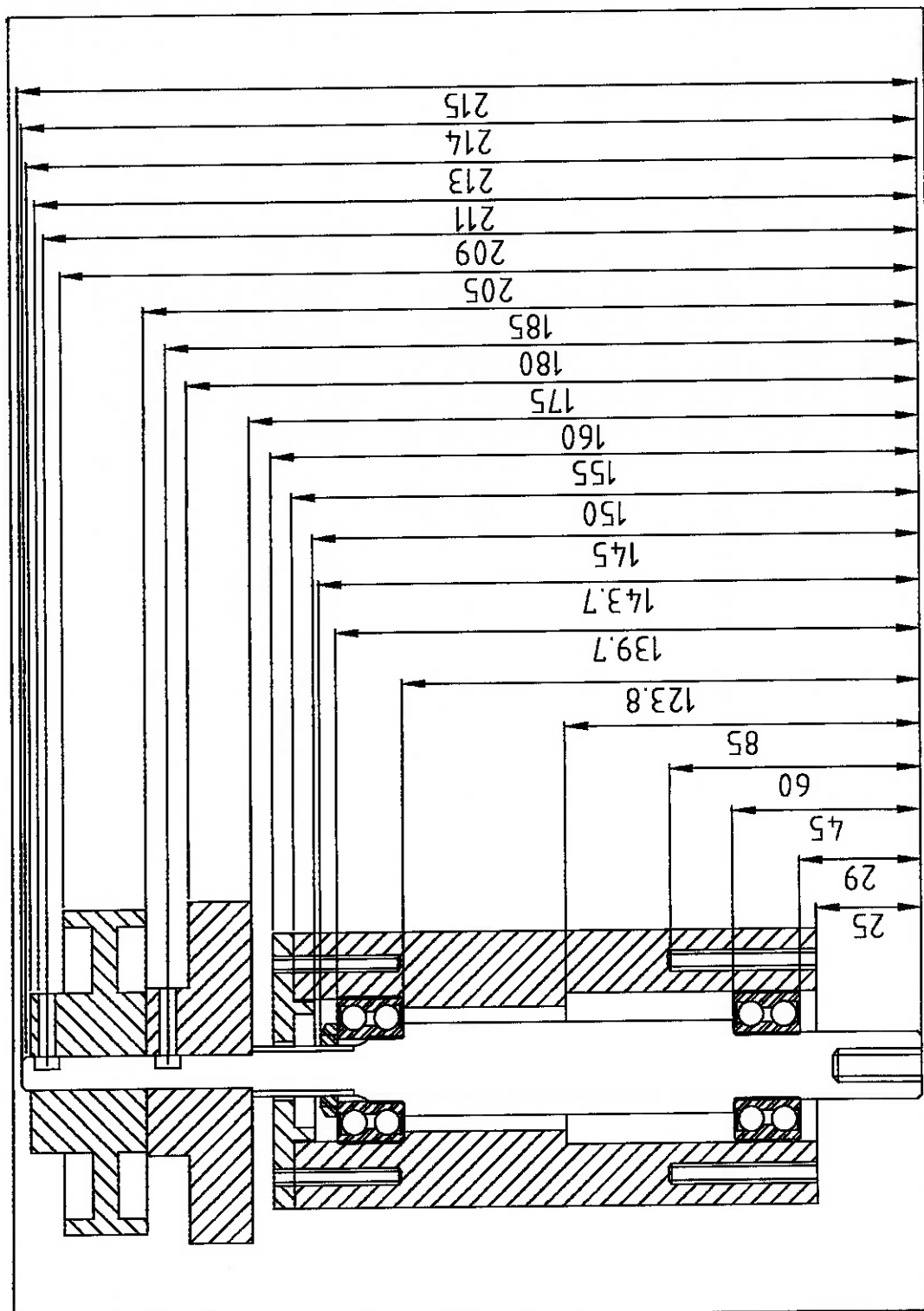












10. Bibliografia

- 1- Kitagawa, H.; Kobayashi, T; Tatsuya B. **Semi-Autonomous Obstacle Avoidance Wheelchair by Joystick Impedance Control** Toyohashi University of Technology.
- 2- Wang, J.; Linnett J. A.; Roberts, J. W. **A unified approach to inverse and direct kinematics for four kinds of wheeled mobile robots and its applications.** Mechanical Engineering Department, Edinburgh University.
- 3- Moore, K. L.; Flann, N. S. **A Six Wheeled Omnidirectional Autonomous Mobile Robot.** Utah State University.
- 4- Shigley, J. E. **Mechanical engineering design.** 5 ed. New York: McGraw-Hill, 1989. 779p.