

Robô Seguidor de Linha

(NATCAR)

Ana Carolina Patrício Danielski
anacarolina.pd97@gmail.com

Isaac Debiasi de Souza
isaacdbbs@outlook.com

Maiara Zanoni Martinello
maiarazmartinello@hotmail.com

Romário João dos Passos Junior
juniorpassosenem@gmail.com

Resumo — Este documento apresenta o desenvolvimento de um robô autônomo seguidor de linha de alta velocidade para a competição NATCAR - SATC. Para a confecção do protótipo usaremos conceitos e conhecimentos das disciplinas de Conversão Eletromecânica de Energia, Eletrônica, Microprocessadores, Modelagem e Sistemas de Controle.

Palavras – chave: *Robô autônomo, seguidor de linha, competição.*

I. INTRODUÇÃO

O robô seguidor de linha NATCAR é um veículo autônomo que tem como objetivo percorrer uma pista, de linhas pretas com o fundo branco, no menor tempo possível e em com velocidade considerável, não sendo permitido trocar ou carregar a bateria durante o período da competição.

Este documento mostra os conceitos teóricos dos componentes que serão utilizados para a confecção do robô, bem como o controle do mesmo de acordo com o pseudocódigo desenvolvido, ensaios e testes feitos nos motores, montagem do robô e testes envolvendo a lógica do fluxograma.

II. COMPONENTES UTILIZADOS

A. Motor DC 6/12V

Os motores DC com caixa de redução são tratados como grandes aliados na robótica, onde a necessidade que o motor precisa suprir é gerar torque e velocidade consideráveis, além disso, é interessante que o motor possa travar os eixos em certos momentos, para que consiga diminuir a velocidade quando encontrar curvas no decorrer do percurso.

Para a construção do NATCAR, a equipe optou por duas rodas na parte traseira com um motor independente para cada uma delas, pois, desta forma o robô terá um maior desempenho em cada uma das rodas.

Foi incrementada uma terceira roda que será utilizada como centralizadora localizada na parte frontal do robô, ela terá um eixo acoplado livre à rotação, já que será necessário medir a velocidade do mesmo por meio de um sistema encoder.

Decorrente do baixo desempenho dos motores adquiridos na primeira etapa em relação à sua velocidade, foram obtidos novos motores com tensão dobrada e com rotação de 1000rpm.

Na Figura 1 o par de motores pode ser visualizado juntamente com a Tabela 1 que possui suas características técnicas.

Figura 1 - Motor DC 6V/12V



Fonte: dos autores

Tabela 1 – Características técnicas do Motor

Tensão	6 a 12V;
Peso	28g
Rotação	500 Rpm(6V) 1000 Rpm(12V);

B. Arduino UNO R3

O Arduino foi criado com a ideia de diminuir o uso de outros aparelhos eletrônicos e substituí-los por um programa, isso reduz custos, perdas e principalmente tempo, pois, facilita na hora de encontrar erros. Um exemplo é a diminuição do uso das portas digitais como as XOR, XNOR, ADN e OR, que trabalham com sinais lógicos, portanto, necessitam da programação física das placas. No projeto ele será responsável pelo comando da ponte H, que por sua vez controla os motores.

Entre os modelos de Arduino existentes, optou-se por usar o Arduino Uno R3, por ser uma plataforma aberta, onde a equipe pode ter acesso a ele com facilidade. Entre seus componentes estão um cristal feito de quartzo 16Mhz, 6 entradas analógicas, fonte de alimentação externa de 6 a 20 volts, conexão USB para salvar programas, um microcontrolador que se baseia em ATmega328P e possui 14 pinos digitais de entrada / saída e um botão de reset.

Na Figura 2 encontra-se o Arduino escolhido, logo após na Tabela 2, as suas características técnicas.

Figura 2 – Arduino UNO R3



Fonte: dos autores

Tabela 2 – Características técnicas do Arduino

Tensão de operação	5 V
Tensão de Alimentação recomendada	7 a 12 V
Tensão de Alimentação Limite	9,12 V
Corrente CC por pino I/O	40 mA
Corrente para pino de 3,3V	50mA
Dimensões	68,58mmx53,34mm
Peso	150g

C. Ponte H L298n

Para o robô, foi projetada uma ponte H que é um circuito capaz de controlar motores de corrente contínua a partir de sinais elétricos.

Utilizando-a, é possível inverter a direção da corrente que circula pelo propulsor fazendo com que mude o sentido de rotação do motor e permite que a velocidade de rotação seja controlada, utilizando os pinos PWM do Arduino.

Na Figura 3 a ponte H a ser utilizada e a seguir na Tabela 3 suas características técnicas.

Figura 3 - Ponte H L298n



Fonte: dos autores

Tabela 3 – Características da Ponte H L298n

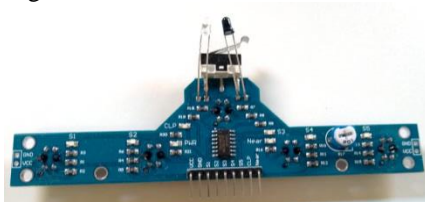
Tensão de operação	4-35 V
Corrente de operação máxima	2A por canal ou 4A máx.
Tensão lógica	5v
Corrente lógica	0~36mA
Limites de Temperatura	-20 a +135°C
Potência Máxima	25W
Dimensões	43 x 43 x 27mm
Peso	30g

D. Módulo Sensor IR 5 Canais

Este componente possui 5 sensores IR na parte de baixo do sensor, 1 na parte dianteira e 1 switch, para que quando o robô encontrar algum obstáculo, como a saída de pista, possa ser desligado, evitando danos no robô. O módulo tem ainda LEDs indicadores para cada um dos sensores, além do LED Power (ligado).

Na Figura 4 a placa de conjunto de sensores, junto a Tabela 4 com suas características técnicas.

Figura 4 - Módulo Sensor IR 5 Canais



Fonte: dos autores

Tabela 4 – Características do Módulo Sensor IR 5 Canais

Alimentação	3 a 5 V
Dimensões:	128 x 57,5 x 16mm
S1: Sensor IR 1	Inferior
S2: Sensor IR 2	Inferior
S3: Sensor IR 3	Inferior
S4: Sensor IR 4	Inferior
S5: Sensor IR 5	Inferior
NEAR: Sensor IR	Dianteiro
CLP: Switch	Dianteiro

E. Bateria 12V Makita

A alimentação utilizada para o robô foi a bateria, da Makita (BI1014), de íons de lítio, com tensão de 12V e corrente de 1,3Ah.

Ela foi escolhida, pois, possui sistema de controle eletrônico de células (ECP), proteção contra sobrecarga e superaquecimento, além disso, a bateria não perde sua carga, mesmo após longo tempo sem utilização.

Outra vantagem é que a bateria escolhida pode ser carregada a qualquer momento, sem danificar sua capacidade de carga, ou seja, podemos utiliza-la para os testes necessários antes da competição.

Quando carregada completamente, ela possui autonomia necessária para o tempo de duração total da competição.

Na Figura 5 demonstra a bateria escolhida para o desempenho do NATCAR.

Figura 5 – Bateria 12V Makita (BI1014)



Fonte: dos autores

Como o objetivo do robô NATCAR é velocidade, estabilidade e desempenho na pista de atuação, a escolha da bateria é de extrema importância. É dela que vem a energia necessária para a alimentação de todos os componentes que serão utilizados no projeto.

Sendo assim, uma das formas que podemos utilizar para economizar o uso da bateria é desligar partes do robô quando não for necessária sua utilização, ou seja, em casos que um dos motores não precise ser utilizado, será desligado. Os motores serão os elementos que mais utilizarão a energia da fonte geradora de energia.

Foram realizados testes para saber o consumo da bateria. Quando o robô é ligado, há uma exigência maior de energia, levando em conta que ele terá um regime de trabalho constante.

Tabela 5 – Consumo de carga pela bateria.

Dispositivo	Consumo (A)
Motores (mA)	0,1
Arduino	0,44
Ponte H	0,036
Sensores	0,05
Total	0,626

A bateria é de aproximadamente 1,3Ah e os dispositivos consomem uma carga total de 62,6mA, o que nos dará aproximadamente 2h de autonomia da bateria.

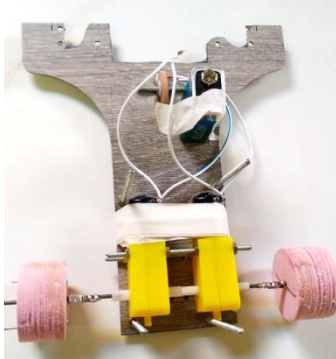
Na próxima etapa serão realizados ensaios para obtenção das curvas da carga e do numero de partidas por minuto.

III. CONSTRUÇÃO DO ROBO E LÓGICA

O objetivo do projeto é desenvolver um robô seguidor de linha que alcance o menor tempo de percurso durante a competição, tendo como obstáculos conhecer a pista e identificar marcadores de início, chegada e curvas na pista.

Com base nos objetivos, a ideia inicial foi o desenvolvimento de um robô, conforme mostra a figura 6.

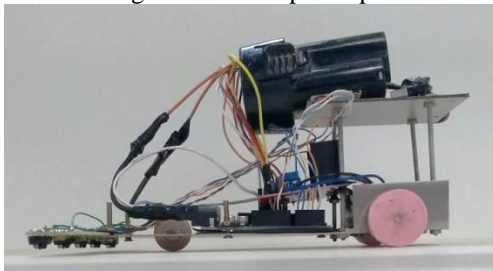
Figura 6 – Protótipo inicial.



Fonte: dos autores

Entretanto, o desempenho do protótipo não ocorreu conforme o desejado pela equipe, logo optamos por uma nova construção da carcaça e relocação dos componentes, conforme mostra a figura 7.

Figura 7 – Novo protótipo.



Fonte: dos autores

O novo modelo do NATCAR projetado pela equipe tem como objetivos ter baixo peso e consumir pouca energia. Isso porque a velocidade é importante e a bateria não poderá ser recarregada.

Para melhorar o desempenho do NATCAR, será inserido um sistema de frenagem regenerativa, onde os motores com freios regenerativos poderão servir como geradores, fazendo com que as baterias sejam recarregadas

com o seu fluxo reverso de corrente, melhorando a autonomia do robô. Consequentemente sua eficiência acaba sendo maior por conta do menor desperdício de energia nos motores.

Para esta implantação será necessário que o fluxo gerado pela própria caixa de redução de cada motor gere um fluxo maior que o fluxo “principal” que alimenta o motor. Como ela já gera um trabalho de travamento no eixo do motor, isso acontece naturalmente e faz com que ele não tenha uma velocidade descontrolada mesmo trabalhando à vazio.

Também será necessário que quando haja uma redução na tensão de alimentação dos motores, suas caixas de redução ainda respondam com fluxo reverso maior que os atuais, fazendo com que essa sobra negativa de tensão vá para a bateria servindo de carregador.

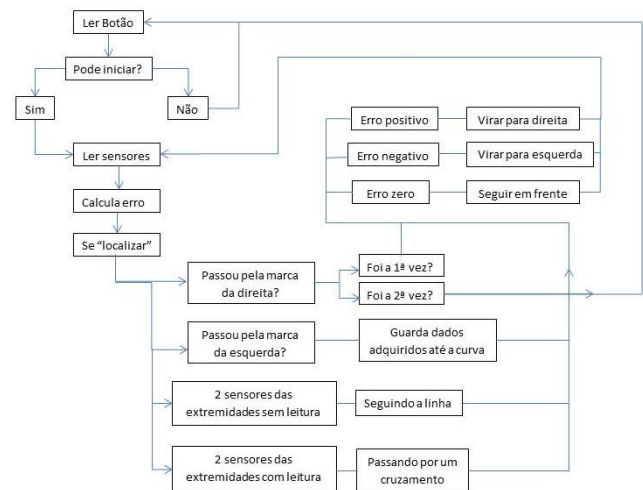
A listagem dos componentes foi alterada com os novos motores como já citados anteriormente, por razão de resultados insatisfatórios, como podem ser observado na tabela 5.

Tabela 6 – Componentes do Natcar.

Tipo	Quantidade
Micromotor c/ caixa de Redução 12V 1000 RPM	02
Módulo Driver Ponte H – L298N	01
Arduino UNO R3	01
Modulo 5 sensor IR	01
Rodas	03
Bateria 12V	01

A partir da lógica inicial adotada pelos membros da equipe obteve-se um fluxograma inicial com base no pseudocódigo desenvolvido até o momento.

Figura 8- Fluxograma



Fonte: dos autores

IV. PROGRAMAÇÃO

Nesta etapa do projeto houve problemas com o método de leitura da pista, a barra de sensor que inicialmente teria uma leitura digital não funcionou como o esperado, forçando a equipe a buscar a mudança na leitura digital, para uma leitura analógica.

Isso foi feito alterando a saída de sinal na placa de sensores, pegando o sinal antes que ele fosse convertido para

digital pelo CI da placa. Com isso, inicia-se uma nova fase de teste com esse novo método.

Com a leitura analógica, o número de sensores para identificação de pista e marcações se limita a apenas 6 sensores, que anteriormente seriam 7, logo, é necessária uma mudança na ideia de leitura da pista e dimensionamento da posição dos sensores.

Um método que parece ser promissor para a programação é o de utilizar um somador para gerenciar a resposta dos motores em relação ao erro que os sensores identificam. Quanto mais deslocado do centro da linha, maior será o erro encontrado, e esse erro será somado constantemente enquanto necessário, deixando assim uma resposta mais suave e estável.

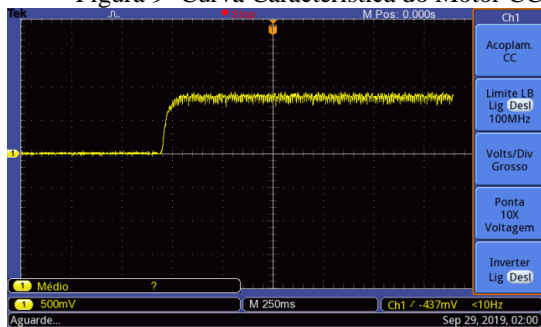
Outro método seria relacionar o erro diretamente a leitura analógica dos sensores, ou seja, os valores dos sensores variam de 0 a 1023, quanto maior o valor, quer dizer que está na linha preta. Sabendo disso, será aplicada uma equação para assimilar o valor de leitura, com o valor de erro, buscando novamente uma resposta mais estável para o controle dos motores.

Contudo, essas programações mostrarão se são eficazes com testes que serão realizados ao longo da nova etapa que está por vir. Uma delas se mostrará a mais vantajosa para o uso da equipe e será apresentada no próximo artigo.

V. PROJETO DE CONTROLADORES

O ensaio a vazio feito no motor CC, deixando com que seu eixo ficasse livre e o motor sem carga, além disso foi conectado o osciloscópio através de pinos jacarés no motor afim de conseguirmos analisar a sua curva característica.

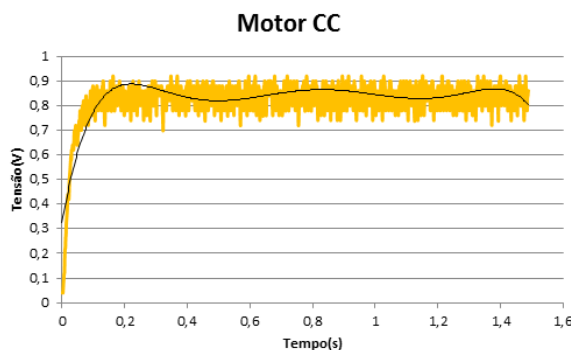
Figura 9- Curva Característica do Motor CC.



Fonte: dos autores

A partir do ensaio feito e conhecimentos em equações matemáticas possíveis para gerar uma curva teórica para comprovação de resultados. Obteve-se a curva característica a seguir.

Figura 10- Curva Característica do Motor CC.



Fonte: dos autores

Pode-se conferir que a curva obtida pelo ensaio se aproximou muito da curva obtida através da teoria, o que pode considerar um resultado satisfatório.

A partir do gráfico acima, é possível encontrar a função de transferência de segunda ordem a partir dos valores de 15%, 45% e 75% do valor máximo, onde pode ser observada na equação resultante a seguir.

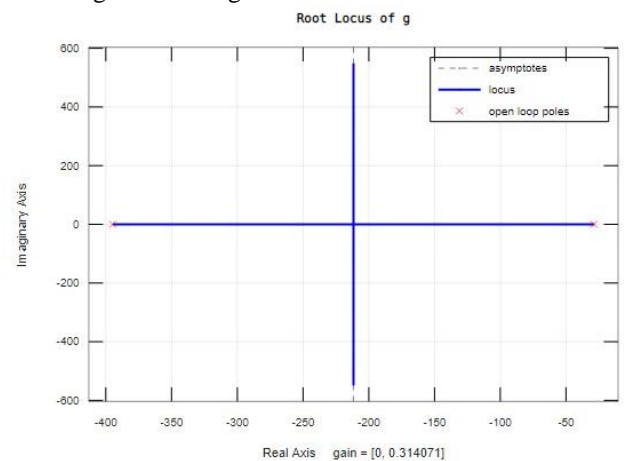
$$G2(S) = \frac{10183,12}{s^2 + 423,35 * s + 11314,58}$$

Fazendo o ajuste de ganho de relação entre a tensão do sinal e a velocidade angular (em radianos), sabendo que a rotação do motor é de 1000 rpm, temos que a nova função de transferência com ganho ajustado é:

$$G2(S) = \frac{1066374,29}{s^2 + 423,35 * s + 11314,58}$$

De acordo com a função de transferência do motor, obtivemos os polos de valores -28,66 e -394,68 e através da simulação na plataforma do Octave temos o lugar geométrico das raízes, como demonstra a figura a seguir.

Figura 11 – Lugar Geométrico das raízes.



Fonte: dos autores

Para o projeto de controladores, foram feitos os cálculos de T_s e σ , conforme os equacionamentos a seguir.

$$\begin{aligned}\sigma &= \xi * \omega_n \\ \sigma &= 1,99 * 106,37 \\ \sigma &= 211,68\end{aligned}$$

$$T_s = \frac{\sigma}{4}$$

$$T_s = \frac{211,68}{4}$$

$$T_s = 52,92s$$

Para o desempenho melhor no controle do NATCAR, projetamos um controlador do tipo PID, de acordo com a função de transferência obtida pelo motor usado no protótipo, e a partir desta função obteve-se os parâmetros necessários para definir o controlador.

A especificação definida foi reduzir o T_s pela metade, conforme o equacionamento a seguir.

$$Ts_{novo} = \frac{Ts}{2} = \frac{52,92}{2} = 26,46s$$

O valor de Zeta mantemos constante $\xi = 1,99$.

$$Ts_{novo} = \frac{\xi * \omega_n}{4}$$

$$\omega_n_{novo} = 53,18$$

$$\sigma_{novo} = \xi * \omega_n$$

$$\sigma_{novo} = 105,82$$

$$\omega_d_{novo} = \omega_n \sqrt{(\xi^2 - 1)}$$

$$\omega_d_{novo} = 91,49$$

Logo, o ponto de operação será:

$$Sd = -\sigma + j\omega_d$$

$$Sd = -105,82 + j 91,49$$

Aplicando os conceitos de alocação de polos de acordo com sistemas de controle, obteve-se o controlador do tipo PID a seguir, com Ts pela metade.

$$(As) = s^3 + 740,74s^2 + 131547,0165s + 10353583,56$$

$$C = \frac{Kd * s^2 + Kp * s + Ki}{s}$$

$$C = \frac{0,000297 * s^2 + 0,1127 * s + 9,709}{s}$$

Também foi projetado um filtro controlador, de tal forma como mostra a seguir, a partir do ponto Sd temos que a função fica uma ordem acima da que obtem-se na função de transferência.

$$(As) = s^3 + 740,74s^2 + 131547,0165s + 10353583,56$$

A partir desta equação foi possível encontrar os valores de K, P, e Z.

$$C = \frac{K * (s + Z)}{s + P}$$

$$C = \frac{-0,0132 * (s - 480,5)}{s + 317,29}$$

Como P é maior que Z, o filtro tem o comportamento como filtro passa baixa e é definido como compensador em atraso de fase.

Contudo, os resultados obtidos com o Ts reduzido pela metade não foram satisfatórios, então projetamos um novo controlador ajustando o Ts para um terço e consideramos o zeta (ξ) constante.

A partir da mesma forma de equacionamento feita para reduzir o Ts pela metade, utilizamos para reduzir o Ts para um terço, logo o novo ponto de operação encontrado foi:

$$Sd = -70,56 + j 61$$

$$(As) = s^3 + 493,92s^2 + 58486,85s + 3069258,96$$

A partir do polinômio A(s), projetamos os filtros PID e o filtro do compensador, respectivamente.

$$C = \frac{Kd * s^2 + Kp * s + Ki}{s}$$

$$C = \frac{0,0000662 * s^2 + 0,0442 * s + 2,878}{s}$$

$$C = \frac{K * (s + Z)}{s + P}$$

$$C = \frac{0,0162 * (s + 131,45)}{s + 70,57}$$

Como Z é maior que P, o filtro tem o comportamento como filtro passa alta e é definido como compensador em avanço de fase.

A partir dos resultados obtidos no projeto dos controladores serão implementados no funcionamento do robô, de forma a verificar se a teoria vai se comprovar na prática, porém, ficará para a próxima etapa a implementação.

VI. PARAMETROS E CURVAS CARACTERISTICAS

É de extrema importância conhecer os parâmetros dos motores utilizados no projeto, bem como, suas curvas características de acordo com seu funcionamento.

Para obter os parâmetros do motor utilizado, foram realizados ensaios em laboratório. Primeiramente é acoplado o rotor do motor CC ao rotor de um motor secundário que será controlado a velocidade. É aplicado a rotação nominal do motor CC no motor secundário.

O motor secundário faz o motor CC girar e quando ele atinge a rotação nominal é medida a tensão nas bobinas do motor CC. Com isso temos a tensão interna gerada do motor CC de 11,1V para o motor 1 e 11V para o motor 2.

Essa tensão não considera as perdas, porque não passa corrente pelo circuito.

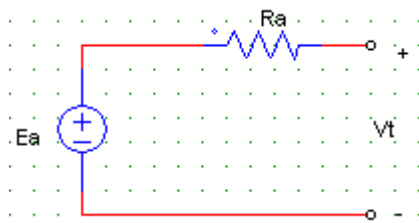
Segundamente, para obter a corrente, é desacoplado os dois eixos e aplicado a tensão nominal no motor CC com o motor trabalhando a vazio. Sendo assim, é medido a corrente que o motor CC está drenando a vazio que é de 47mA.

Tendo o valor de tensão e de corrente é possível calcular a resistência interna do motor, sendo que essa resistência considera a resistência do rotor e das escovas.

Para a medição da resistência (Ra) real do motor e as perdas reais seria necessária a desmontagem dos motores. Como eles são muito pequenos quando fosse remontados após os ensaios poderia danificar o funcionamento ideal dos componentes. Portanto a medição foi feita através de uma aproximação do cálculo de resistência dada pelo efeito Joule que atua no motor com a relação dos valores obtidos em ensaio.

Desta forma obteve-se o circuito equivalente com valores de Tensão (Ea), Resistência (Ra) e Corrente (Ia).

Figura 12 – Circuito Equivalente do Motor CC.



Fonte: dos autores

De acordo com os ensaios o valor da tensão para o motor 1 foi de 11,1V e 11V para o motor 2, e a corrente para ambos foi de 47mA.

$$R_a = \frac{E_a}{I_a}$$

$$R_{a1} = 236,17\Omega$$

$$R_{a2} = 234,04\Omega$$

Como o valor de R_a é uma aproximação e uma modelagem detalhada de um Motor CC, apresenta um erro entre a real e calculada.

De acordo com as condições nominais de funcionamento, onde a tensão do motor CC é de 12V, e a corrente medida de 47mA, é possível obter os seguintes equacionamentos para o motor 1.

$$E_{a1} = V_t - (R_a \cdot I_a)$$

$$E_{a1} = 12 - (236,17 * (47 * 10^{-3}))$$

$$E_{a1} = 0,9V$$

$$P_{rot1} = E_{a1} \cdot I_a$$

$$P_{rot1} = 0,9 * (47 * 10^{-3})$$

$$P_{rot1} = 0,0423W$$

$$P_{in1} = V_t \cdot I_a$$

$$P_{in1} = 12 * (47 * 10^{-3})$$

$$P_{in1} = 0,564W$$

$$P_{dc1} = \frac{(V_t - E_{a1medido})^2}{R_{a1}}$$

$$P_{dc1} = \frac{(12 - 11,1)^2}{236,17}$$

$$P_{dc1} = 3,43 * 10^{-3}W$$

Então a potência de saída para o motor 1 será:

$$P_{out1} = P_{in} - P_{dc} - P_{rot}$$

$$P_{out1} = 0,564 - 3,43 * 10^{-3} - 0,0423$$

$$P_{out1} = 0,518W$$

E sua eficiência é a relação da potência de saída pela sua potência de entrada, logo temos que:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100\%$$

$$\eta_1 = 91,84\%$$

Os mesmos testes e equacionamentos são válidos para o motor 2:

$$E_{a2} = V_t - (R_a * I_a)$$

$$E_{a2} = 12 - (234,04 * (47 * 10^{-3}))$$

$$E_{a2} = 1V$$

$$P_{rot2} = E_{a2} * I_a$$

$$P_{rot2} = 1 * (47 * 10^{-3})$$

$$P_{rot2} = 0,047W$$

$$P_{in2} = V_t * I_a$$

$$P_{in2} = 12 * (47 * 10^{-3})$$

$$P_{in2} = 0,564W$$

$$P_{dc2} = \frac{(V_t - E_{a2medida})^2}{R_{a2}}$$

$$P_{dc2} = \frac{(12 - 11)^2}{234,04}$$

$$P_{dc2} = 4,27 * 10^{-3}W$$

Então a potência de saída para o motor 2 será:

$$P_{out2} = P_{in} - P_{dc} - P_{rot}$$

$$P_{out2} = 0,564 - 4,27 * 10^{-3} - 0,047$$

$$P_{out2} = 0,5127W$$

E sua eficiência é a relação da potência de saída pela sua potência de entrada, logo temos que:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100\%$$

$$\eta_1 = 90,9\%$$

Outro fator importante a ser obtido é a curva característica da corrente e tensão em função da velocidade.

Para obter a tensão E_a e a corrente I_a do motor utilizado, foram realizados ensaios em laboratório, onde foi acoplado o rotor do motor CC ao rotor de um motor secundário que será controlado a velocidade. Varia-se a velocidade de rotação do motor CC através do inversor de frequência que controla o motor secundário.

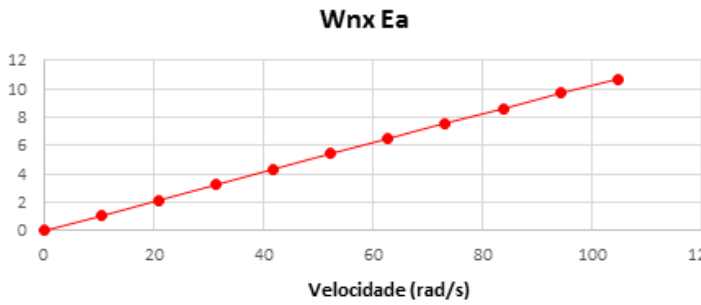
O eixo do motor secundário faz o eixo do motor CC girar e a cada velocidade de rotação atingida é medida a tensão.

Com isso temos a tensão E_a a cada intervalo de velocidade desejado.

Tabela 7 – Velocidade X Tensão

w(RPM)	w(rad/s)	E _a (V)
0	0	0
100	10,47198	1,05
200	20,94395	2,15
300	31,41593	3,25
400	41,8879	4,35
500	52,35988	5,45
600	62,83185	6,5
700	73,30383	7,6
800	83,7758	8,6
900	94,24778	9,7
1000	104,7198	10,7

Gráfico 1 – Curva característica da tensão X Velocidade



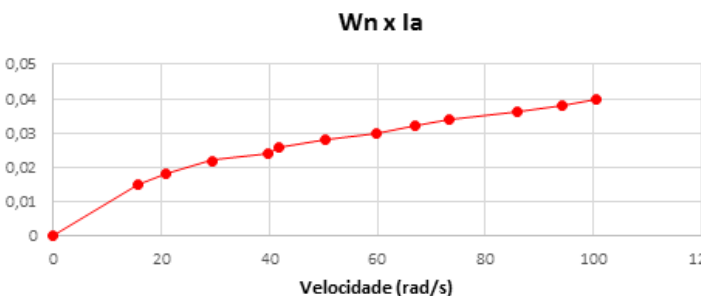
Para o ensaio da corrente foram desacoplados os dois eixos e conectado o motor, um multímetro e fonte CC todos em série.

É aplicado tensão no motor CC, e conforme vai variando a tensão, mede-se a rotação do eixo com um tacômetro e medido a corrente com o multímetro. Com isso, obtivemos a corrente I_a em cada intervalo de velocidade desejado.

Tabela 8 – Velocidade X Corrente

w(RPM)	w(rad/s)	I(A)
0	0	0
150	15,70796	0,015
200	20,94395	0,018
280	29,32153	0,022
380	39,79351	0,024
400	41,8879	0,026
480	50,26548	0,028
570	59,69026	0,03
640	67,02064	0,032
700	73,30383	0,034
820	85,8702	0,036
900	94,24778	0,038
960	100,531	0,04

Gráfico 2 – Curva característica da Corrente X Velocidade

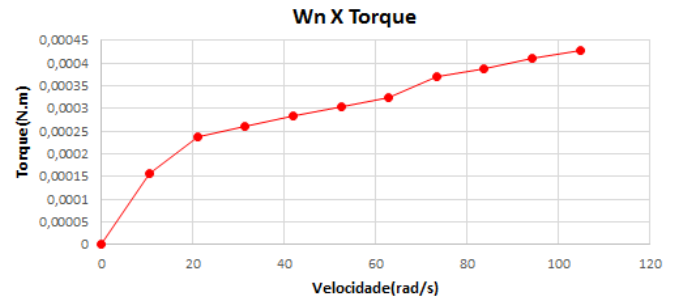


Após termos todos os valores de Corrente e Tensão para cada uma das velocidades, obtem-se o torque através da fórmula a seguir:

$$\tau_{ind} = \frac{E_a \cdot I_a}{W_n}$$

De tal forma que o torque do motor utilizado no NATCAR obteve o seguinte comportamento como mostra o gráfico 3.

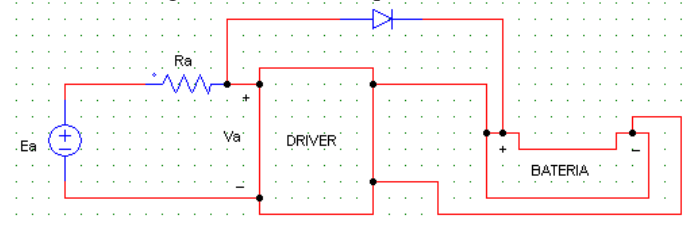
Gráfico 3– Curva característica da Velocidade X Torque



VII. FREIO REGENERATIVO

O circuito equivalente projetado para a construção do freio é o de colocar um diodo reversamente polarizado, onde dê passagem da tensão para a bateria quando o robô freie a ponto de que E_a seja maior que a tensão no driver, invertendo o sentido da corrente.

Figura 13- Circuito equivalente do freio.



Fonte: dos autores

Fórmula definida para o freio:

$$I_a = \frac{V_a - E_a}{R_a} = - \left(\frac{E_a - V_a}{R_a} \right)$$

O freio ainda esta em fase de implantação no protótipo, portanto não foi possível medir o consumo da bateria de acordo com o funcionamento do freio e sem a adaptação do mesmo. Desta forma, estes ensaios e testes serão feitos na próxima etapa.

VIII. MODELAGEM DO ROBÔ

Para a modelagem do centro de massa do robô foram feitas medições no eixo x, no eixo y e no eixo z de cada um dos componentes do NATCAR.

Onde por expressões matemáticas chegou-se na matriz resultante referente ao centro de massa.

$$I = \begin{pmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{pmatrix}$$

$$I = \begin{pmatrix} 0,000643 & 0 & 0,00025373 \\ 0 & 0,001209 & 0 \\ 0,00025373 & 0 & 0,000614 \end{pmatrix}$$

IX. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A confecção do robô foi toda voltada para o melhor desempenho possível. Com uma estrutura mais baixa e compacta para que tenha mais estabilidade. Outro tópico relevante é ser mais leve, devido ao peso ser de grande importância, porque, quanto mais leve o robô for, maior será o seu desempenho em velocidade e menos será exigido dos motores.

O desempenho com os novos motores mostrou-se satisfatório, com alto desempenho em linhas retas, porém, o código terá mudanças a fim de obter maior estabilidade e desempenho nos obstáculos que serão as curvas.

Os ensaios e cálculos realizados mostraram o funcionamento do motor, suas características e através deles foi possível aplicar na prática a teoria vista em sala de aula.

O intuito para a terceira etapa é implementar o freio regenerativo de forma que faça com que a bateria e o motor trabalhem em conjunto e tenham um ótimo desempenho.

Por fim, o controle da velocidade será feito através da aplicação dos filtros projetados até o momento.

X. REFERÊNCIAS

- [1] *Bateria 12V Ion Lítio 1.3Ah Makita BI1014*. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br/bateria-12v-ion-litio-1-3-ah-makita-bi1014-/p/4365138/fs/bpas/?utm_source=google&partner_id=20474&seller_id=ddmaquinas&product_group_id=321568816714&ad_group_id=48543699315&aw_viq=pla&gclid=EAlaIQobChMIwljAjZe35AIVQYCRCh2FzgxNEAQYBCABEGloXfD_BwE> Acesso em: 03/09/2019
- [2] *Módulo Sensor IR 5 Canais para Robô Seguidor de Linha*. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-sensor-ir-5-canais-para-robo-seguidor-de-linha/>> Acesso em: 30/07/2019
- [3] *Arduino Uno R3 – Compatível + Cabo USB 2.0 - A-B*. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/arduino-uno-r3.html>> Acesso em: 14/08/2019
- [4] *Mini Motor DC 3-6V 10.000RPM*. Disponível em: <<https://www.masterwalkershop.com.br/mini-motor-dc-3-6v-10000rpm>> Acesso em: 14/08/2019
- [5] Thomsen, Adilson. Motor DC com Driver Ponte H L298N. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/motor-dc-arduino-ponte-h-l298n>> Acesso em: 14/08/2019
- [6] MOTA, Allan. O que é Arduino e como funciona? 2017. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-e-arduino-e-como-funciona/>>. Acesso em: 03/07/2019
- [7] Ponte H. Disponível em: <<http://www.roboliv.re/conteudo/ponte-h>>. Acesso em: 23/08/2019.
- [8] SEN, P. Principles of Electric Machines and Power Electronics. 2. ed. [S.l.]: Jhon Wiley & Sons, 1997. 615 p.
- [9] CHAPMAN, Stephen J.. Fundamentos de Máquinas Elétricas. 5. ed. 2013.