

Aplicação com pequenos motores DC

por Camilla Fernandes e Lucas Hofner

Esta AN foi desenvolvida como trabalho da disciplina de Programação de Sistemas Embarcados em março de 2021 na Universidade Federal de Minas Gerais. A matéria foi lecionada pelo professor Ricardo de Oliveira Duarte - Departamento de Engenharia Eletrônica.

INTRODUÇÃO

Este documento provê a utilização de pequenos motores DC junto a placa STM32F103C8T6. Uma demonstração será feita com dois motores DC 3-6V com caixa de redução e eixo duplo, juntamente com o *driver* Ponte H L298N que será controlado utilizando botões.

A ideia principal é ligar e desligar os motores, além de controlar a direção de rotação deles. As ações serão feitas utilizando um conjunto de quatro botões para gerar sinal para o módulo Ponte H.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
APLICAÇÃO COM PEQUENOS MOTORES DC	3
DEMONSTRAÇÃO DO MOTOR DC	6
Materiais utilizados	6
Microcontrolador STM32F103C8T6	6
Motor DC	7
<i>Driver</i> Ponte H L298N	7
Chave Táctil	9
Bateria Alcalina 9V	11
Regulador de Tensão LM317	11
Circuito Simplificado	12
Controlando a direção	12
REFERÊNCIAS	13

APLICAÇÃO COM PEQUENOS MOTORES DC

Ligar um motor diretamente a um microcontrolador sem utilizar um circuito Ponte H pode ser um pouco contraproduativo. Isso porque sem esse circuito extra não é possível variar a direção do fluxo de corrente através do motor de forma a inverter sua direção de rotação, já que os microcontroladores operam em uma tensão contínua positiva. Destarte, o motor iria girar em apenas um sentido, configurado pela ligação física dos fios do motor na alimentação.

Neste documento iremos apresentar a aplicação de pequenos motores DC junto a um *driver* Ponte H para discorrer sobre o controle do sentido de rotação dos motores do tipo DC. Abaixo pode ser visto o arranjo simplificado das chaves em H que demonstram como o circuito é montado:

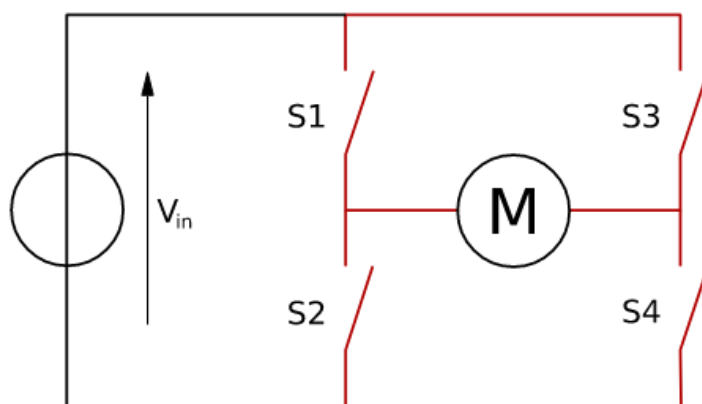


Figura 1: Arranjo das chaves no circuito simplificado da Ponte H.

A princípio o funcionamento da Ponte H é bastante simples. A forma como as chaves são acionadas resultam em um comportamento específico da corrente e da tensão. Acionando-se as chaves S1 e S4 simultaneamente, o terminal direito do motor fica com uma tensão mais positiva que o esquerdo, fazendo a corrente fluir da direita para a esquerda. Já acionando-se em conjunto as chaves S3 e S2, o contrário ocorre, o terminal esquerdo do motor fica com uma tensão mais positiva que o direito, fazendo a corrente fluir da esquerda para a direita. Assim, o sentido da corrente na primeira situação será contrário à segunda situação.

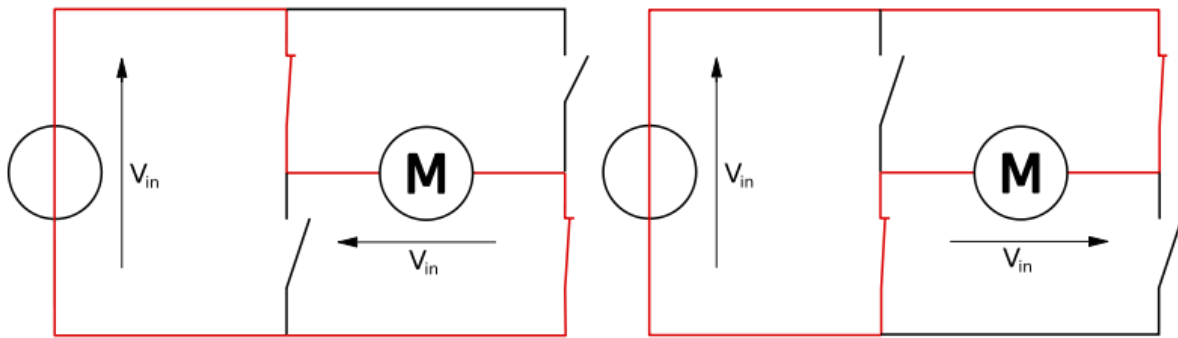


Figura 2: Diagrama e esquema de funcionamento de um circuito “Ponte H”.

Outra forma convencional de acionamento das chaves seria ligar S1 e S3 ou S2 e S4 de forma a gerar o efeito de freio no motor. Além desses acionamentos outras formas são possíveis mas não devem ser realizadas, como exemplo tem-se o acionamento das chaves S1 e S2, S3 e S4 ou até mesmo acionar as quatro chaves ao mesmo tempo. O resultado desses acionamentos seria o efeito *shoot-through* que pode levar a destruição do circuito devido ao curto entre VCC e GND.

Para prevenir esses comportamentos indesejados é interessante utilizar um circuito dedicado que ofereça proteção para essas situações. Esse tipo de circuito é chamado de *driver*. Para a demonstração desse documento será utilizado o módulo Ponte H L298N.

O L298N integra dois estágios de saída de energia (A e B), ou seja, permite o controle de dois motores. Cada estágio de saída é uma configuração em ponte e suas saídas podem acionar uma carga indutiva no modo comum ou diferencial, dependendo do estado das entradas. A corrente que flui através da carga sai da ponte na saída de detecção: um resistor externo (RSA e RSB) que permite detectar a intensidade desta corrente.

Cada ponte é acionada por meio de quatro portas cujas entradas são IN1, IN2 e EnA que permitem controlar o primeiro motor e IN3, IN4 e EnB que controlam o segundo motor. As entradas IN definem o estado da ponte quando a entrada En é alta; um estado baixo da entrada En inibe a ponte.

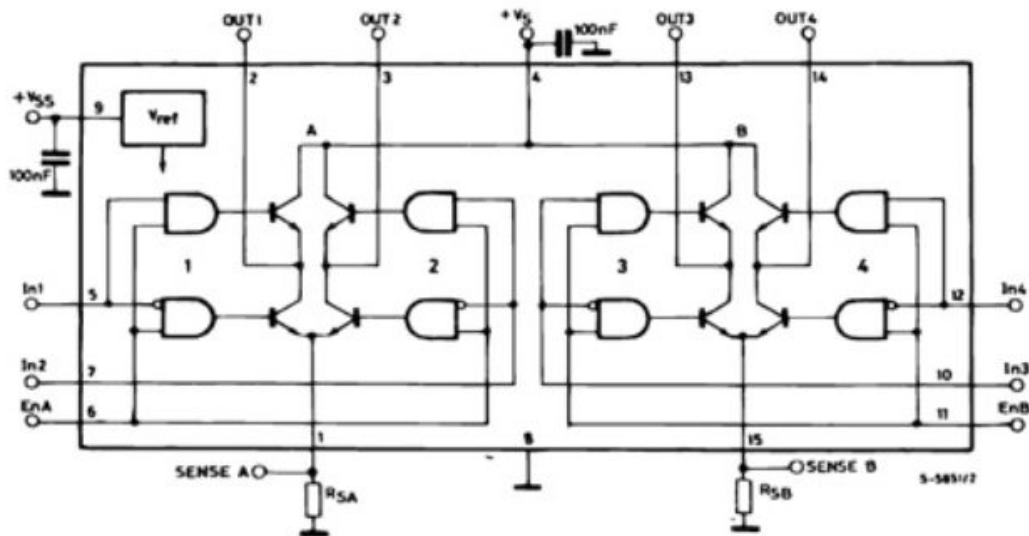


Figura 3: Diagrama do circuito do *driver* Ponte H L298N.

A tensão de saída de detecção pode ser utilizada com o intuito de controlar a amplitude da corrente cortando as entradas ou para fornecer proteção de sobrecorrente, comutando para baixo a entrada de habilitação.

O *shoot-through* ocorre no momento da frenagem (parada rápida do motor), quando a corrente de pico da carga pode ser superior a 2A. Nesse ponto, faz-se necessário o módulo da Ponte H que possui outros componentes no circuito capazes de fornecer proteção ao resto do sistema. Essa proteção geralmente é apresentada em uma configuração das saídas em paralelo. Uma ponte externa de diodos *Schottky*, elementos de recuperação rápida ($t_{rr} \leq 200$ nseg), é necessária quando as cargas indutivas são acionadas e quando as entradas do IC são cortadas.

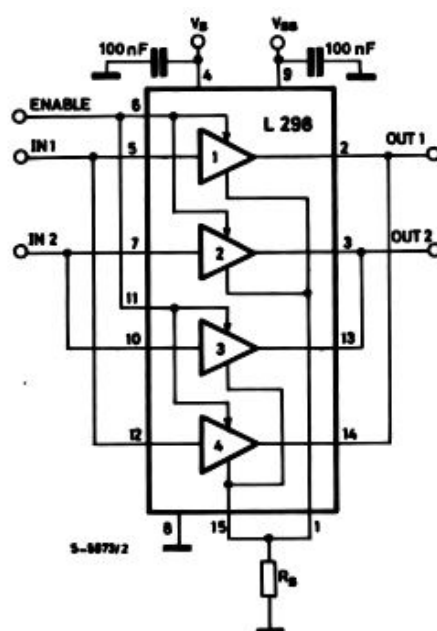


Figura 4: Para correntes mais altas, uma proteção é colocar as saídas em paralelo.

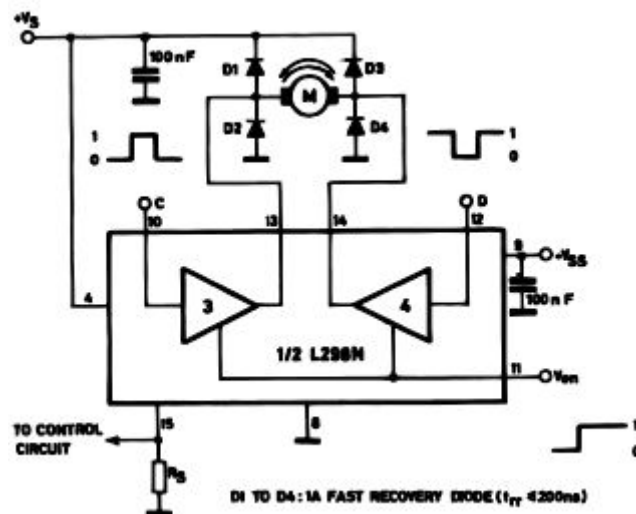


Figura 5: Demonstração da ponte externa de diodos Schottky.

Em suma, a utilização de um *driver* dedicado para acionar uma Ponte H contribui para a simplicidade do circuito e também da segurança no acionamento, visto que este impede as condições de *shoot-through* que poderiam causar danos à placa. Nesse caso, como mencionado anteriormente, será utilizado o módulo Ponte H L298N.

DEMONSTRAÇÃO DO MOTOR DC

Esta demonstração mostrará um sistema utilizando dois motores DC junto com um módulo Ponte H. O *driver* permite a alteração da polarização dos motores possibilitando a alteração do sentido de rotação deles.

O sistema simulará uma espécie de carrinho controlado por quatro botões. Cada botão dará uma direção ao robô: frente, trás, direita e esquerda. Caso nenhum botão seja apertado o carrinho encerrará seu movimento.

Materiais utilizados

Microcontrolador STM32F103C8T6

O microcontrolador escolhido é de arquitetura 32 bits, 10 pinos de ADC e 37 pinos no geral que possuem capacidade de interrupção externa (que será utilizada nos botões).

Especificações:

- Alimentação de 2,0 a 3,6V;
- Memória RAM 20 kBytes;
- Memória Flash de 64 kBytes;
- Temperatura ambiente de operação: -40° a 105°.

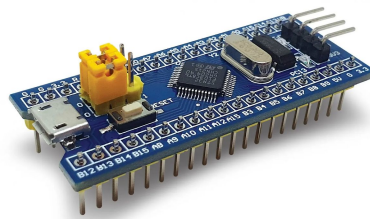


Figura 6: Microcontrolador STM32F103C8T6.

Motor DC

Esse componente possui dois fios. A ligação feita no VCC ou no GND de cada fio define o sentido de rotação. Sem o drive da Ponte H seria necessário inverter a ligação dos cabos para modificar assim o sentido de rotação.



Figura 7: Motor DC 3-6V com Caixa de Redução e Eixo Duplo.

Especificações do motor:

- Eixo duplo;
- Redução: 1:48;
- Tensão de Operação: 3-6V;
- Torque: 0,35 Kgf/cm (3V) e 0,80 Kgf/cm (6V);
- Corrente sem carga: 200mA (6V) e 150mA (3V);
- Velocidade sem carga: 200 RPM (6V) e 90 RPM (3V);
- Velocidade de rotação do Motor: 125 Rpm em 3V;
- Dimensões: 22x70x23mm;
- Peso: 30g;

Driver Ponte H L298N

O módulo *driver* Ponte H é capaz de trabalhar com dois motores DC ou com um motor de passo. Esse circuito permite alterar o sentido da corrente e o valor de tensão enviada a um componente através do chaveamento da polaridade da tensão.

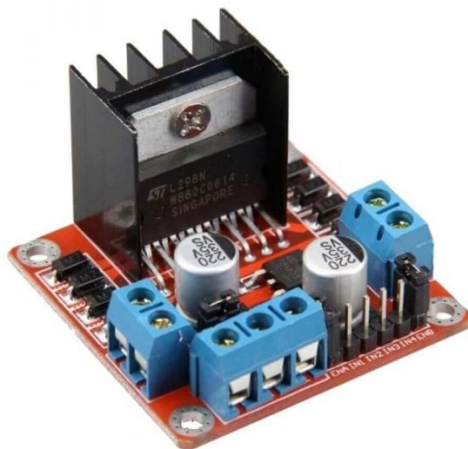


Figura 8: Módulo *driver* Ponte H.

Especificações do módulo:

- Chip: ST L298N ([Datasheet](#));
- Tensão de Operação: 4~35v;
- Corrente de Operação máxima: 2A por canal ou 4A max;
- Tensão lógica: 5v;
- Corrente lógica: 0~36mA;
- Limites de Temperatura: -20 a +135°C;
- Potência Máxima: 25W;
- Dimensões: 43x43x27 mm;
- Peso: 30g;

Abaixo é possível verificar os elementos do módulo e uma breve explicação das conexões.

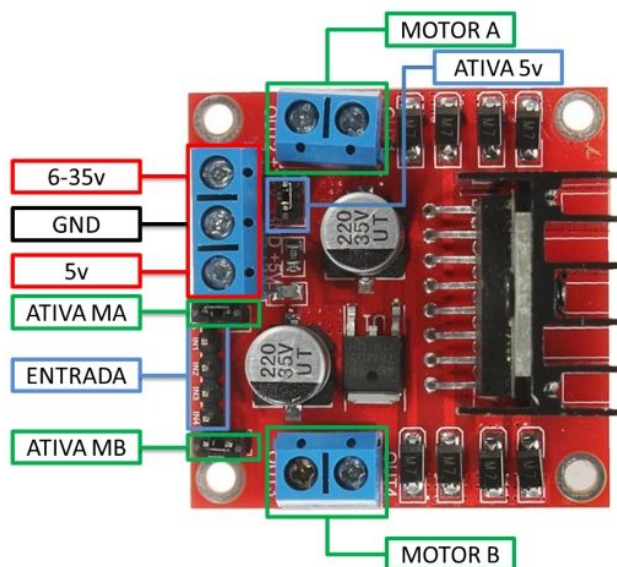


Figura 9: Elementos e conectores do *driver* L298N.

- **(Motor A) e (Motor B):** se referem aos conectores para ligação de 2 motores DC ou 1 motor de passo
- **(Ativa MA) e (Ativa MB):** são os pinos responsáveis pelo controle PWM dos motores A e B. Nessa demonstração os jumpers estarão presentes pois não haverá controle de velocidade, de forma que os pinos estarão ligados aos 5v.
- **(Ativa 5V) e (5V):** o *driver* possui um regulador de tensão integrado. Quando o *driver* está operando entre 6-35V, este regulador disponibiliza uma saída regulada de +5V no pino (5V) para um uso externo (com jumper), podendo alimentar por exemplo outro componente eletrônico. Caso o jumper esteja ausente, uma tensão positiva de 3,3V a 5V deve ser fornecida para servir de referência para o nível lógico positivo da ponte. Como o MCU utilizado opera em 3,3V, o jumper deve ser removido e a tensão de 3,3V será aplicada a esse pino.
- **(6-35V) e (GND):** aqui será conectado a fonte de alimentação externa quando o *driver* estiver controlando um motor que opere entre 6-35V, como acontece nesse caso. Basta conectar a fonte externa de 12V neste pino e (GND).
- **(Entrada):** este barramento é composto por IN1, IN2, IN3 e IN4. Sendo estes pinos responsáveis pela rotação do Motor A (IN1 e IN2) e Motor B (IN3 e IN4).

Os conectores IN1 e IN2 funcionam de forma independente aos outros dois conectores, IN3 e IN4. Cada par pode controlar um motor. Apenas para fins de orientação, marca-se o motor A como o motor à direita e o motor B como o motor à esquerda. Na tabela abaixo é possível verificar qual deve ser o sinal lógico em cada conector do motor A e B para cada movimento desejado.

MOTORES	DIREITO (MOTOR A)		ESQUERDO (MOTOR B)	
CONECTORES	IN1	IN2	IN3	IN4
<i>HORÁRIO</i>	HIGH	LOW	HIGH	LOW
<i>ANTI-HORÁRIO</i>	LOW	HIGH	LOW	HIGH
<i>FREIO</i>	HIGH	HIGH	HIGH	HIGH
<i>PONTO MORTO</i>	LOW	LOW	LOW	LOW

Tabela 1: Definição dos motores e sinal enviado para cada movimento.

Chave Táctil

A chave utilizada na demonstração será um botão de pressão. Esse componente possui contato momentâneo, isto é, a conexão é aberta ou fechada apenas momentaneamente, enquanto o botão estiver sendo pressionado. No sistema trabalhado será utilizado a configuração normalmente aberta para a chave, na qual a conexão é estabelecida ao pressionar o botão e é interrompida ao soltá-lo.



Figura 10: Chave táctica.

Especificações do botão:

- Tensão máxima: 12V;
- Corrente máxima: 0,5A;
- Dimensões: 6x6x6mm;
- Peso: 0,3g.

É comum observar junto ao botão um resistor, sendo esse utilizado para garantir um nível lógico estável quando uma tecla não está pressionada. Geralmente utiliza-se um resistor de 10K Ω para esse propósito. As possíveis configurações são:

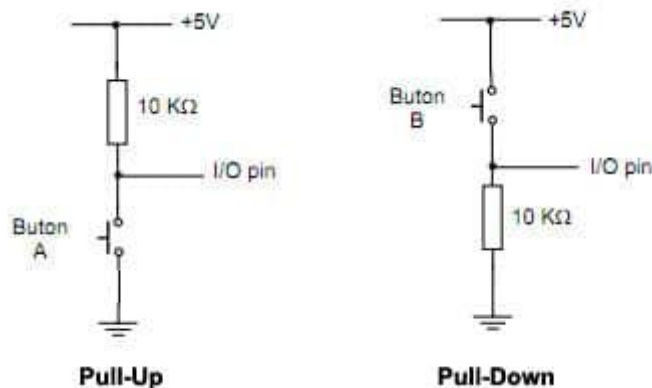


Figura 11: Ligações de resistores *pull-up* e *pull-down*.

O circuito com resistor *pull-down* oferece nível lógico *LOW* ou 0 no estado normal (não passa corrente) e nível lógico *HIGH* ou 1 quando pressionado (passa corrente). Já o circuito com resistor *pull-up* dispõe de nível lógico *HIGH* ou 1 no estado normal e nível lógico *LOW* ou 0 quando pressionado.

Na demonstração será utilizado a configuração *pull-down* para todos os quatro botões, de forma que, enquanto cada botão não é apertado o circuito estará aberto e portanto será enviado nível lógico *LOW*.

Bateria Alcalina 9V

A bateria alcalina de 9V será a responsável por alimentar todo o circuito. Ela fornecerá a tensão e corrente para a operação dos motores por meio da ponte H e alimentará o microcontrolador. Porém, como a tensão de alimentação do MCU é de 3,3V, a tensão da bateria deverá ser regulada.

Especificações técnicas:

- Tensão Nominal: 9V;
- Capacidade: 550 a 580mA.h.



*Imagens meramente ilustrativas

Figura 12: Bateria Alcalina de 9V.

Regulador de Tensão LM317

O regulador de tensão tem como objetivo diminuir a tensão da bateria para o funcionamento do microcontrolador. Além disso, fornece a tensão de 3,3V de referência para o nível lógico da ponte H.

Especificações técnicas:

- Tensão de entrada: 4,2 a 40V DC;
- Tensão de saída ajustável: 1,2 a 37V DC;
- Diferença entre a tensão de entrada e saída: 1,5V;
- Corrente de saída: 1,5A (Típica 2,2A);
- Frequência: 100MHz;
- Temperatura de operação: -55 a 125°C;
- Dimensões: 35x17x22mm.



Figura 13: Regulador de Tensão LM317.

Circuito Simplificado

A Figura 14 mostra o circuito simplificado montado para a aplicação. Nele é possível ver a alimentação pela bateria de 9V, a regulação de tensão de 3,3V pelo LM317, as chaves tácteis com os resistores de pull-up, as ligações com o MCU e as ligações dos motores com a ponte H. Ressalta-se as funções dos pinos de GPIO nas ligações no MCU: para as chaves tácteis, os pinos são de interrupção externa, enquanto para os pinos IN da ponte H, os pinos são de saída.

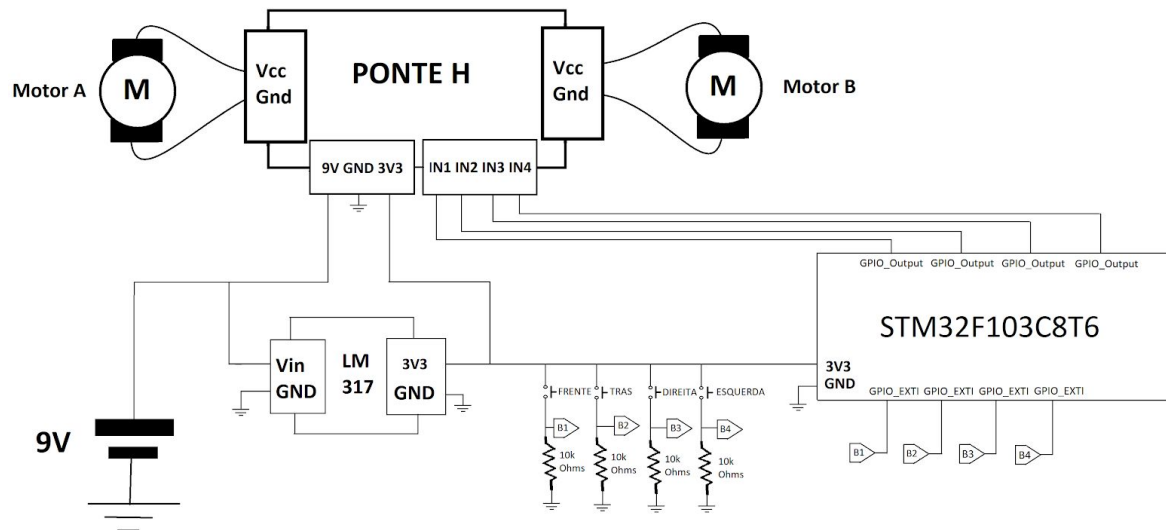


Figura 14: Circuito montado para aplicação.

Controlando a direção

Como mostrado anteriormente ao enviar sinais para o *driver* Ponte H é possível controlar o sentido de rotação de cada motor. E ao combinar o sentido dos dois motores pode-se dar movimento a, por exemplo, um carrinho.

Quando uma roda conectada ao motor gira no sentido anti-horário ela empurra o chão para trás de forma que ganha movimento para frente. Já ao girar no sentido horário ela empurra o chão para frente e por isso é movida para trás. Dessa forma, para mover o carrinho para frente é necessário que ambas as rodas estejam girando no sentido anti-horário, enquanto que para andar para trás as rodas devem girar no sentido horário.

Pela tabela 1, sobre a Ponte H, mostrada anteriormente, é possível verificar que para um motor girar no sentido anti-horário o primeiro conector dele (IN1 e IN3) deve receber o nível lógico *LOW* enquanto que o segundo (IN2 e IN4) deve receber *HIGH*. Para que ambas as rodas girem no sentido horário, fazendo com que o robô ande para trás, os sinais enviados serão o contrário, IN1 e IN3 devem receber *HIGH*, IN2 e IN4 devem receber *LOW*.

Já se uma roda girar no sentido contrário a outra, o robô não andará mais em linha reta, ele irá girar sobre o seu eixo. Para virar a direita é necessário que a roda mais a direita, presa ao motor A, ande para trás enquanto que a roda da esquerda, conectada ao motor B, ande para frente. O que significa que o motor A deve girar no sentido horário e o B no sentido anti-horário, em questão de nível lógico tem-se IN1 e IN4 recebem *HIGH* e IN2 e IN3 recebem *LOW*. Alterando a direção que se deseja seguir, isso é, virar a esquerda o contrário será aplicado, motor A deve girar no sentido anti-horário indo para trás e o motor B no sentido horário indo para frente. Logo tem-se que IN1 e IN4 recebem *LOW* e IN2 e IN3 recebem *HIGH*.

Nessa demonstração serão utilizados quatro botões. E ao apertar cada botão um comportamento será aplicado ao carrinho:

- Botão 1: Faz com que o robô siga em frente;
- Botão 2: Faz com que o robô vire à direita;
- Botão 3: Faz com que o robô ande para trás;
- Botão 4: Faz com que o robô vire à esquerda.

A tabela abaixo mostra de forma simplificada as possibilidades de movimento e o que acontece ao apertar cada botão:

SENTIDO DE ROTAÇÃO E DIREÇÃO	DIREITO (MOTOR A)	ESQUERDO (MOTOR B)
<i>BOTÃO 1: FRENTE</i>	ANTI-HORÁRIO	ANTI-HORÁRIO
<i>BOTÃO 2: DIREITA</i>	HORÁRIO	ANTI-HORÁRIO
<i>BOTÃO 3: TRÁS</i>	HORÁRIO	HORÁRIO
<i>BOTÃO 4: ESQUERDA</i>	ANTI-HORÁRIO	HORÁRIO

Tabela 2: Sentido de rotação dos motores e direção seguida pelo robô.

REFERÊNCIAS

WIKIPÉDIA, A ENCICLOPÉDIA LIVRE. Ponte H. [S. l.], 2017. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_H#:~:text=Ponte%20H%20%C3%A9%20um%20circuito,tens%C3%A3o%20e%20a%20tens%C3%A3o%20em. Acesso em: 3 mar. 2021.

EMBARCADOS. Ponte H com bootstrap para acionamento de motores DC. Rodrigo Almeida, set. 2014. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/ponte-h-bootstrap-acionamento-motores-dc/#:~:text=A%20ponte%20H%20%C3%A9%20um,de%20utilizar%20uma%20fonte%20sim%C3%A9trica.&text=O%20funcionamento%20da%20ponte%20H,motor%20rodando%20em%20um%20sentido>. Acesso em: 7 mar. 2021.