

DESENHO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE ROBÔ SEGUIDOR DE LINHA PARA TRANSPORTE E MANUSEIO DE MATERIAIS

Ana Lúcia Nascimento Moraes dos Santos, analidia1117@gmail.com¹

Nelson Junior da Silva Rocha, nelsonjrrocha@gmail.com¹

Hendrick Maxil Zarate Rocha, henzaro@gmail.com¹

Manoel Fernandes Martins Nogueira, mfmn@ufpa.br¹

¹Universidade Federal do Pará – Faculdade de Engenharia Mecânica, Rua Augusto Corrêa, 1 – Guamá, Belém – PA.

Resumo: A construção de um robô foi pensada para viabilizar o trabalho das indústrias sobre o transporte de cargas, bem como, aumentar a segurança no ambiente de trabalho, diminuir os custos com mão de obra e manutenção de máquinas. O interesse do projeto se concentra em construir uma trajetória e desenvolver um protótipo de um carro autônomo seguidor de linha, capaz de operar em ambientes de abastecimento, descarga e transporte de materiais, inserindo sensores de infravermelhos e ultrassom. Desse modo, conhecido como Veículo Autoguiado, o robô é hábil a seguir uma linha, a partir de uma origem e chegar a um destino previamente determinados, sem colisões e a necessidade da operação humana, com eficácia, velocidade e economia superiores a máquinas comuns, como empilhadeiras.

Palavras-chave: Arduino, transporte, AGV, infravermelho, ultrassom.

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais, as empresas se preocupam com a implementação de projetos que visem a diminuição de custos de produção e o aumento da competitividade no comércio. A elaboração de um plano logístico para o seguimento de movimentação de cargas no interior e no exterior de fábricas está impulsionando o mercado mundial. Segundo Lima (2014), o Instituto de Logística e Supply Chain (Ilos) afirmou que os custos logísticos no Brasil sofreram um aumento a partir de 2012, devido à falta de infraestrutura, num período que também se desencadeou um crescimento na economia do país e na demanda de transporte. Para Pianegonda (2016), em 2015, esses custos consumiram 12,7% do PIB nacional, enquanto nos Estados Unidos, apresentaram uma taxa de 7,8%.

Uma notícia reportada por MSLGROUP (2016) mostrou a pesquisa realizada pela Fundação Dom Cabral, em 2015, a qual constatou que os custos logísticos no Brasil consomem 11,73% da receita das empresas, aumento de 1,8% em relação ao ano anterior. Junto à Rodovia, Máquinas e Equipamentos e Profissionais Qualificados demonstraram os maiores níveis de dependência das empresas. Além disso, o transporte e armazenagem são os fatores que mais colaboram na formação do preço final, prejudicando tanto a empresa quanto o consumidor.

Desta maneira, algumas medidas são necessárias para a redução dos custos logísticos e a otimização da infraestrutura no ambiente fabril. Construir um sistema integrado e automatizado é uma ideia que agrega organização, controle das atividades, padronização e reprodutibilidade com eficiência e erros mínimos. Assim, este artigo propõe a construção e a implementação de um protótipo de veículo autoguiado de baixo custo, que funcione de forma autônoma e precisa, capaz de transportar cargas sobre uma trajetória pré-determinada com velocidade e segurança; minimizando os gastos com máquinas e mão de obra.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Fundamentação Teórica

Santos (2013) mostra que o AGV (Auto Guided Vehicle) é um veículo autoguiado utilizado para transporte de materiais em ambientes industriais. De acordo com Cordeiro (2014), não necessita de operadores, seguem uma trajetória fixa, sem colisões, a partir do reconhecimento através de sensores ópticos inseridos no seu sistema.

Quando comparado a empilhadeiras e motoristas de empilhadeiras, os AGVs apresentam, vantagens devido a sua autonomia. A instalação de um controle virtual, sem a intervenção humana, consegue concluir os trajetos que vão desde

o carregamento até a entrega dos materiais, operando sem pausas, com precisão, velocidade e segurança, por Santos (2013).

Um estudo realizado por Souza et al (2013), ainda demonstrou que o retorno do investimento na compra e implantação do AGV é inferior a um ano em comparação com a utilização de máquinas que necessitam de mão de obra para operar. Vale ressaltar que este meio de transporte dispensa aluguel e a manutenção é menos frequente e mais econômica em relação às empilhadeiras. Além disso, Lugli et al (2016) observou que o tempo médio de abastecimento do veículo autoguiado é 25% menor se o mesmo fosse feito por um operador.

Existem quatro tipos básicos que definem o princípio de funcionamento do veículo autoguiado:

➤ Sistema indutivo

Para Santos (2013) e Vertriglio (2004), neste sistema são instaladas trilhas percorridas por corrente elétrica sob a superfície do solo, criando um campo magnético detectado por antenas especiais contidas no AGV, que servem com sensores de direção do veículo. Este método é escolhido em casos onde há superfícies rugosas ou sujas. Porém, não é viável em ambientes que demandam modificações frequentes nas locações de estoque e armazenamento, onde o transportador irá trafegar, devido as instalações elétricas fixas e trabalhosas.

➤ Sistema a laser

Neste sistema, o AGV se localiza através de faróis refletores fixados em colunas ou postes. O laser instalado no veículo faz uma varredura até reconhecer pelo menos três faróis e identificar sua posição, cuja informação é guardada na memória do AGV. O método é considerado um dos mais precisos e seguros, entretanto, possui custos mais elevados e é necessário um mapeamento para a análise e escolha de posicionamento dos refletores, segundo Santos (2013) e Vertriglio (2004).

➤ Sistema de marcadores

Santos (2013) mostra que neste sistema são instalados marcadores magnéticos igualmente espaçados sobre o solo que informam as coordenadas do AGV, quando ele passa por cada marcador. Além da posição instantânea, o veículo recebe informações sobre a próxima trajetória, até que alcance o marcador seguinte. Não é o método mais viável, uma vez que, se houver erros na programação ou no percurso do AGV e, como consequência, ele desviar da trajetória, não será possível concluir seu destino.

➤ Sistema óptico

Este sistema utiliza sensores ópticos capazes de identificar a trajetória que o AGV deve seguir. Essa trajetória é demarcada por fitas ou linhas pintadas no solo, que em contato com sujeiras ou rugosidades podem comprometer o seu reconhecimento pelos sensores, prejudicando a continuidade do veículo, por Santos (2013) e Vertriglio (2004).

Para Faieza et al (2016), a maior desvantagem na aplicação do AGV é a inflexibilidade no conserto e na troca de rotas do veículo. Entretanto, apesar de apresentar um percurso fixo, o sistema óptico é bastante flexível, pois as rotas podem ser trocas ou atenuadas fácil e rapidamente, com baixo custo e em pouco tempo, Santos (2013). Esse sistema foi escolhido visando áreas internas e com superfície lisa, no qual será utilizado sensores de ultrassom e infravermelho como guias de direcionamento.

2.2. Mecânica

Construíram-se dois protótipos: o primeiro com duas rodas traseiras tracionadas e um roda boba dianteira, e o segundo com quatro rodas tracionadas. Os motores utilizados são de corrente contínua, alimentados por uma tensão de até 6V e uma corrente de até 120mA. Também apresentam caixa de redução na proporção de 1:48, alcance de velocidade de 1m/s e rotação de 260 rpm na tensão máxima. Segundo a Norma VDI 2510, da Associação dos Engenheiros Alemães, é recomendado que a velocidade máxima do AGV seja limitada em 1 m/s.

2.3. Inteligência

2.3.1. Microcontrolador

A inteligência do protótipo será realizada pelos microcontroladores ATmega328P, do Arduino Uno Ver no primeiro protótipo, e ATmega2560 presente na placa Arduino MEGA 2560. As placas foram escolhidas pelo custo benefício, que oferece simplicidade de manuseio, qualidade e viabilidade para projetos robóticos por um preço baixo. Elas são responsáveis por comandar todas as funções executadas pelo carrinho e funcionarão como uma via de comunicação entre o sensor e o atuador; logo, todas as informações enviadas e recebidas pelo Arduino devem ser interpretadas e manipuladas pelos microcontroladores. O programa é desenvolvido no software Arduino.

2.3.2. Sensor Infravermelho

O sensor utilizado como seguidor de linha é um módulo composto de um LED emissor de luz infravermelha e um fototransistor receptor de onda. Quando uma onda infravermelha é enviada pelo emissor e refletida ao encontrar um obstáculo, ela é captada pelo fototransistor, que gera uma corrente, cuja intensidade depende da luminosidade da superfície onde a onda foi refletida. Quanto maior a luminosidade, maior será a tensão gerada pelo fotodiodo, de acordo com Warren et al (2011). Esta diferença de potencial gera dados que serão processados pelo microcontrolador e enviados aos atuadores.

O atuador recebe os dados do microcontrolador e os executa de acordo a programação planejada. Aqui, o atuador serão os motores. Porém, a comunicação entre o Arduino e cada motor será feita por um shield motor contendo dois CIs L293D (cada CI é composto de duas pontes H, que controlam dois motores). Para Evans et al (2013), a ponte H é um conjunto de transistores que funcionam como chaves controladoras de corrente, ou seja, interruptores. A Figura 1 demonstra a disposição dos transistores.

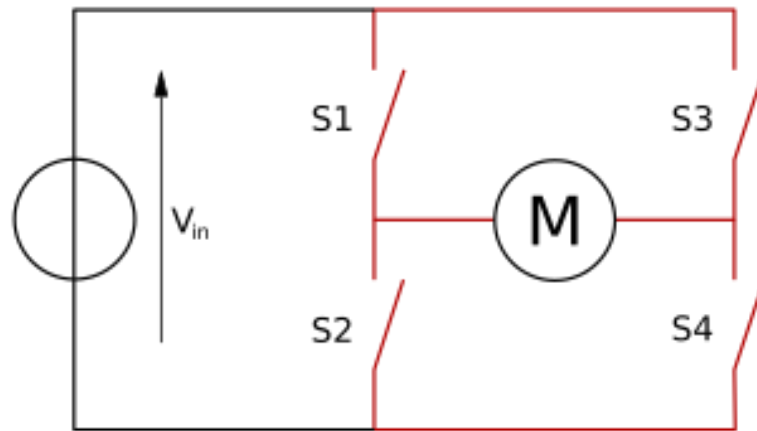


Figura 1. Desenho esquemático da ponte H composta de quatro transistores.

A Tabela 1 descreve a comunicação entre a ponte H e os motores. De acordo com a Fig. 1, pode-se observar que, quando os transistores S2 e S3 estão fechados, ao passo que S1 e S4 estão abertos, o ponto B é o polo positivo e o ponto A é o polo negativo. Neste caso, os motores giram no sentido anti-horário. Se o inverso acontece, os polos também são invertidos e os motores giram no sentido horário. Em situações que os transistores S1 e S3 estão abertos, enquanto S2 e S4 estão fechados, e vice-versa, ocorrerá um curto circuito. Por fim, quando todos estiverem abertos, não haverá corrente, logo os motores permanecerão em repouso.

Tabela 1. Comportamento do motor para cada circuito elétrico admitido pela ponte H.

S1	S2	S3	S4	Motor
Aberto	Fechado	Fechado	Aberto	Sentido anti-horário
Fechado	Aberto	Aberto	Fechado	Sentido horário
Aberto	Fechado	Aberto	Fechado	Curto-circuito
Fechado	Aberto	Fechado	Aberto	Curto-circuito
Aberto	Aberto	Aberto	Aberto	Parado

Para simular a trajetória que o carro deve percorrer em uma indústria, desenhou-se, sobre uma superfície branca, um percurso com fita preta. Neste percurso, o protótipo precisou identificar as linhas retas e as curvas abertas. Baharuddin (2008) descreve que quanto menor a curvatura do caminho planejado, maior é a dificuldade de segui-lo. A Figura 2 e a Figura 3 mostram a montagem dos protótipos seguidores de linha.

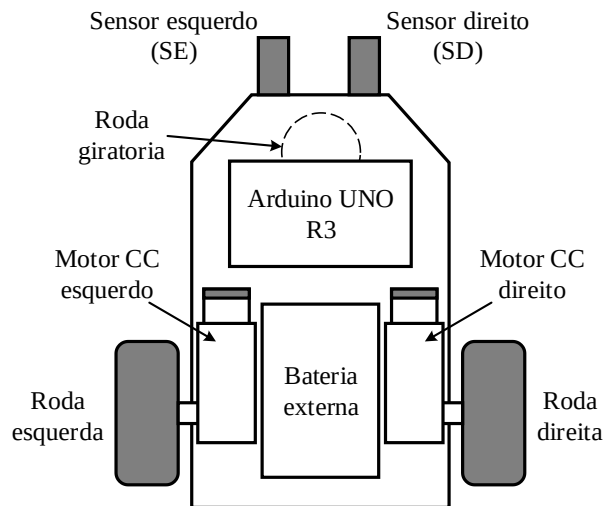


Figura 2. Ilustração do primeiro protótipo.

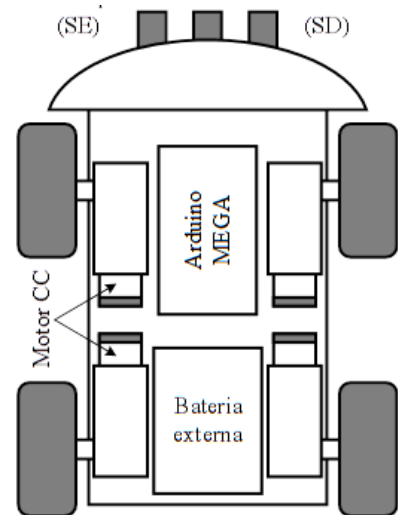


Figura 3. Ilustração do segundo protótipo.

Para cada curva, os sensores de infravermelhos geram respostas diferentes que devem ser padronizadas e identificadas pelo robô. Nogueira (2015) explica que, esses sensores ópticos geram níveis de tensão bem definidos para o microcontrolador que podem ser compreendidos como estados ‘HIGH’, igual a 1, ou ‘LOW’, igual a 0. É por meio desta lógica binária do sinal digital que o sensor pode ser calibrado para identificar a rota determinada. Assim, para a superfície branca fora da trajetória, o receptor da onda infravermelha refletida gera 1, em contrapartida, na superfície sob a rota, ele gera sinal 0.

Então, traduzindo a lógica descrita acima, para a linguagem de programação do Arduino, utilizando dois e três sensores, o carrinho funcionará conforme a Tab. 2 e a Tab. 3.

Tabela 2. Funções de comando em relação aos sinais de tensão enviada por dois sensores.

SD	SE	Comando
HIGH(==1)	HIGH(==1)	Frente
LOW(==0)	LOW(==0)	Para
HIGH(==1)	LOW(==0)	Esquerda
LOW(==0)	HIGH(==1)	Direita

Tabela 3. Funções de comando em relação aos sinais de tensão enviada por três sensores.

Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Comando
HIGH(==1)	HIGH(==1)	HIGH(==1)	Para
LOW(==0)	LOW(==0)	LOW(==0)	Para
LOW(==0)	LOW(==0)	HIGH(==1)	Direita
LOW(==0)	HIGH(==1)	HIGH(==1)	Direita
HIGH(==1)	LOW(==0)	LOW(==0)	Esquerda
HIGH(==1)	HIGH(==1)	HIGH(==1)	Esquerda
LOW(==0)	HIGH(==1)	LOW(==0)	Frente
HIGH(==1)	LOW(==0)	HIGH(==1)	Para (caso improvável)

Visualmente, a Fig. 4 e a Fig. 5 representam a resposta do veículo após a leitura de sinais dos infravermelhos.

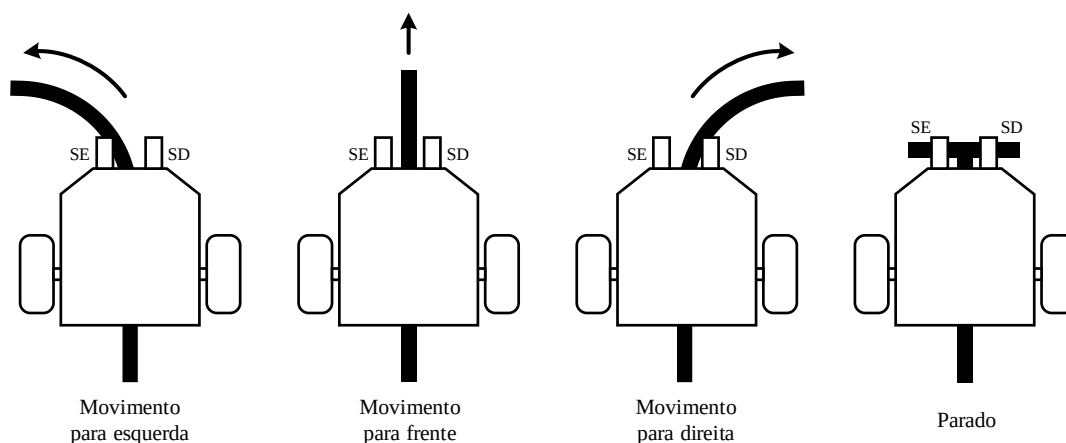


Figura 4. Relação entre posição do sensor e o movimento do robô seguidor de linha.

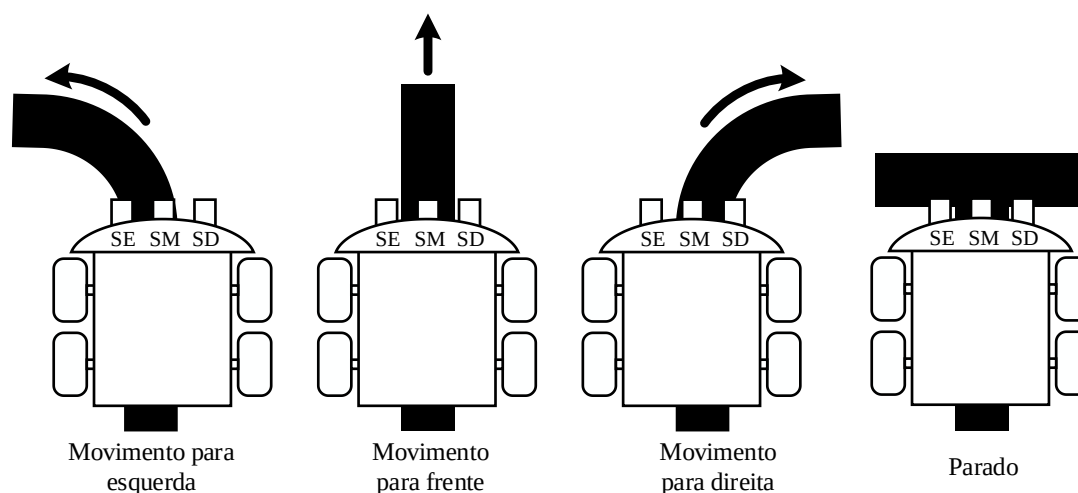


Figura 5. Relação entre posição do sensor e o movimento do robô seguidor de linha.

2.3.3. Sensor Ultrassom

O sensor de ultrassom utilizado foi o HC-SR04, responsável pela detecção de obstáculos e a leitura de distâncias entre 2 cm a 400 cm, com precisão de 3 mm. Ele é composto por um emissor e um receptor de onda ultrassônica e um circuito controlador, que calcula o tempo de saída e chegada da onda enviada e refletida. Pelo tempo entre a emissão e recepção da onda em alto nível e a velocidade da onda ultrassônica, é possível calcular a posição do objeto que a refletiu. Para Shaholia (2016), a escolha desse sensor é viável pelo alcance, baixa consumo de energia e independência quanto a refletividade dos obstáculos, bem como das cores e da superfície para fazer sua medição.

Para garantir a segurança do AGV e evitar colisões, o programa descreve que, para distâncias menores que 50 centímetros, o veículo deve parar e acender uma luz vermelha. Caso contrário, seguirá a rota como previsto e a luz verde acenderá.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Durante a montagem dos carrinhos e a realização dos primeiros testes, detectou-se que a distância limite do solo com o sensor infravermelho deve ser no máximo de 2 mm, a partir da qual, o infravermelho consegue diferenciar a linha preta e o plano branco. Se o desnível entre os sensores e o solo for maior que a distância limite, não será possível identificar a trajetória. Para melhorar a sensibilidade dos sensores, foram ajustados os potenciômetros presentes em cada módulo.

Em curvas, nota-se que o carrinho com dois sensores de infravermelho faz movimentos de ziguezague; após um único sensor detectar a linha. O ciclo é interrompido quando ambos os sensores medem o mesmo sinal (1 ou 0). Como solução para este problema, faz-se necessário que a distância entre os sensores seja pouco maior ou igual à largura da faixa; desse modo, a menor inclinação realizada pelo carrinho, será suficiente para que o sensor, antes fora da faixa, detecte a mesma curva, aperfeiçoando a linearidade do percurso.

Ainda assim, melhores resultados foram obtidos para o protótipo que utiliza três sensores de infravermelho. Percebeu-se que, quanto maior o número de sensores, melhores são as condições para o reconhecimento da posição da trajetória devido ao aumento de combinações possíveis (observadas na Tab.2 e Tab.3), ou seja, mais precisa será a correspondência do protótipo.

Dessa forma, os robôes seguidores de linha (RSL) descritos até o momento são apresentados abaixo nas Fig. 4 e Fig. 5.

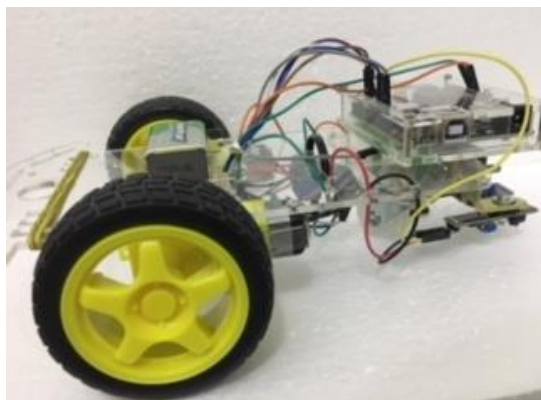


Figura 6. Vista lateral do primeiro protótipo.

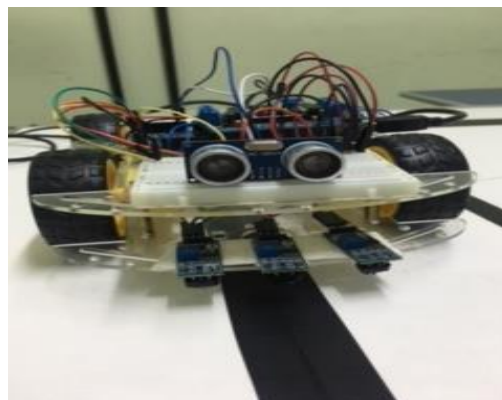


Figura 7. Vista frontal do segundo protótipo.

Outro fator determinante para a conclusão com eficácia do projeto foi o controle de velocidade do veículo em função da direção percorrida pelo mesmo. No Arduino, a velocidade do protótipo foi declarada como uma variável de 8 bits que pode assumir valores dentro de um intervalo de 0 a 255, cujos extremos representam a velocidade mínima e máxima, respectivamente.

Tabela 4. Orientação do protótipo AGV para diferentes velocidades

	VELOCIDADE					RESPOSTA
	RETA	Curva esquerda		Curva direita		
		Rodas externas	Rodas internas	Rodas externas	Rodas internas	
1	10	10	10	10	10	Parado
2	50	50	50	50	50	Parado
3	70	70	70	70	70	Movimentou-se na reta, sem curvas.
4	80	80	80	80	80	Movimentou-se na reta, realizou curva aberta com dificuldade e curva aberta com muita dificuldade.
5	70	100	70	100	70	Movimentou-se na reta, realizou curva aberta e não completou a curva fechada.
6	100	100	100	100	100	Movimentou-se na reta, realizou curva aberta e não realizou curva fechada.
7	150	150	130	150	130	Movimentou-se na reta, sem curvas.
8	65	130	80	130	80	Realizou todos os três tipos de curva com qualidade

A Tabela 4 descreve o comportamento do protótipo 2 sobre a trajetória, quando declarado oito conjuntos de velocidade para cada direção detectada. Em seguida, o gráfico relaciona a tensão enviada pelo CI do motor shield para cada motor nas mesmas velocidades destacadas acima, quando o carrinho se encontra em linha reta.

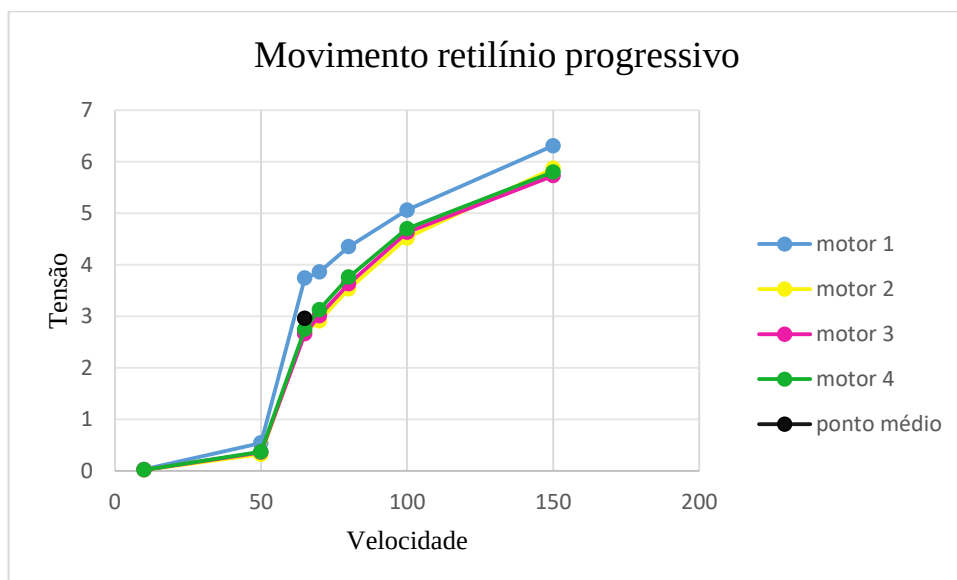


Figura 8. Relação tensão x velocidade em linha reta

Pela Figura 8 é possível observar que o controlador dos motores não enviou os mesmos valores de tensão para seus quatro atuadores. Além disso, estes experimentos concluíram que, para velocidades muito baixas, os motores não têm torque suficiente para acionar o protótipo, devido à baixa tensão recebida. Já para velocidades muito altas, o veículo ultrapassa as curvas e desvia da rota, visto que a resposta dos infravermelhos é inferior à própria velocidade do carrinho. Portanto, encontrou-se o ponto médio, a partir do qual existem torque e velocidades suficientes para que o veículo complete sua trajetória sozinho e com eficácia. Este ponto contém velocidades aproximadamente iguais a 0,25 m/s na reta, 0,51 m/s nas rodas externas à curva e 0,31m/s nas rodas internas à curva (representadas na última linha da Tab. 4 como valores analógicos) e está expresso no gráfico por uma tensão média de 2,96V. As dificuldades encontradas para se estabelecer uma velocidade ideal para o protótipo de quatro rodas, não surgiram para o protótipo com apenas duas rodas tracionadas. Percebeu-se que, quanto maior o número de rodas tracionadas, maior é a resistência do veículo para se movimentar. Por isso, para o primeiro robô, a velocidade pode ser superior ao segundo robô em todos os tipos de curva.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs a fabricação de um protótipo seguidor de linha, apto a transportar cargas em ambientes industriais, de forma autônoma. A tarefa se mostrou como uma alternativa às empilhadeiras, visando a economia dos custos logísticos das empresas em relação aos investimentos em máquinas e mão de obra.

O veículo autoguiado foi conduzido de um ponto a outro, sobre uma rota tracejada, com a ausência da operação humana. As etapas foram desenvolvidas de acordo com a simulação de diferentes trajetórias e pelo uso de dois a três sensores infravermelhos, os quais permitiram concluir que quanto maior o número desses sensores, menor são os desvios do veículo sobre a rota.

Ainda foram utilizados dois protótipos com duas e quatro rodas tracionadas, os quais apresentaram divergências de comportamento quando utilizado o mesmo programa computacional. Houve uma necessidade de um controle de velocidade particular para cada veículo. A velocidade do veículo de quatro rodas é uma função da direção. Diversas velocidades foram testadas até que se encontrassem valores ideais que qualificasse o carrinho a seguir curvas abertas e fechadas maiores ou iguais a 90°. Além disso, a tensão recebida pelos motores foi essencial para que o protótipo se tornasse totalmente autônomo.

Os experimentos permitiram concluir a eficácia do protótipo seguidor de linha e a viabilidade da construção de um veículo autoguiado em escala real. O robô demonstrou um ótimo desempenho, versatilidade e modernidade a baixo custo.

5. REFERÊNCIAS

- BAHARUDDIN, M. Z.; ABIDIN, I., Z.; MOHIDEEN, S., S., K.; SIAH, Y., K.; CHUAN, J. T. T. "Analysis of Line Sensor Configuration for the Advanced Line Follower Robot." Universiti Tenaga Nasional. v. 9, n. 4. 2008.
- CORDEIRO, T. F. Sistema de detecção e contorno de obstáculos para robótica móvel baseado em sensor Kinect. Bragança: IPB, 2014. 104 p.
- EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. Arduino in motion. In: Arduino in Action. Manning, 2013. cap.5.
- FAIEZA, A. A. et al. Review on Issues Related to Material Handling using Automated Guided Vehicle. Adv Robot Autom. v. 5. issue 1. 2016.

- LIMA, M. Custos Logísticos no Brasil. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/custos-logisticos-no-brasil/>>. Acesso em: 19.fev.2018.
- CORDEIRO, T. F. Sistema de detecção e contorno de obstáculos para robótica móvel baseado em sensor Kinect. Bragança: IPB, 2014. 104 p.
- LIMA, M. Custos Logísticos no Brasil. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/custos-logisticos-no-brasil/>>. Acesso em: 19.fev.2018.
- LUGLI, A.B. et al. Desenvolvimento e aplicação de um veículo autoguiado em ambiente industrial. Minas Gerais: INATEL, 2016.
- MSLGROUP, A. Disponível em: <<http://www.fdc.org.br/blogspacodialogo/Lists/Postagens/Post.aspx?ID=482>>. Acesso em: 19.fev.2018.
- NOGUEIRA, A. D; TEIXEIRA, V.; FREITAS, W. R. Aplicação de robótica em Processos de Transporte Industrial. São Paulo: Unilins, 2015. SANTOS, E. A. S. Logística baseada em AGVs. Porto: FEUP, 2013. 67 p.
- NR-26. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr26.htm>>. Acesso em: 23. Fev.2018.
- PIANEGONDA, N. Custo logístico consome 12,7% do PIB do Brasil. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/custo-logistico-consome-12-do-pib-do-brasil>>. Acesso em: 19.fev.2018.
- SHAHOLIA, K. Abstacle Avoidance in AGV- Utilizing Ultrasonic Sensors. University West, Department of Engineering Science. 9. jun. 2016.
- VERTIGLIO, R. AGV veículo autoguiado. Itatiba: Universidade São Francisco, 2004. 21 p.
- WARREN, J.-D.; ADAMS, J.; MOLLE, H. Linus the Line-Bot. In:..Arduino Robotics. Apress, 2011. cap.4.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A ROBOT PROTOTYPE LINE FOLLOWER FOR MATERIAL TRANSPORT AND HANDLING

Ana Lúcia Nascimento Moraes dos Santos, analidia1117@gmail.com¹

Nelson Junior da Silva Rocha, nelsonjrrocha@gmail.com¹

Hendrick Maxil Zarate Rocha, henzaro@gmail.com¹

Manoel Fernandes Martins Nogueira, mfmn@ufpa.br¹

¹Department of Mechanical Engineering, Federal University of Pará, Augusto Corrêa street, 1 – Guamá, Belém, Brazil

Abstract. *The building of a robot was designed to enable the work of the industries on the transportation of loads, as well as, increase the safety in the work environment, reduce the costs with labor and maintenance of machines. The focus of the project is to build a trajectory and develop a prototype of an autonomous line follower car, capable of operating in supplying, unloading and material transportation, inserting infrared and ultrasound sensors. In this way, known as Auto Guided Vehicle, the robot is able to follow a line, from an origin and reach a predetermined destination, without collisions and the need of human operation, with efficiency, speed and economy superior to common machines such as forklifts.*

Keywords: *Arduino, transport, Auto Guided-Vehicle, infrared, ultrasound.*