

Veículo Elétrico Autônomo Guiado por GPS para Ambiente Industrial

Eduardo Zaro*, João Olegário O. de Souza**, Rodrigo Marques de Figueiredo***

**Tramontina Multi, Carlos Barbosa-RS, Brasil (Tel: 54 3461-8250; e-mail: eduardo.zaro@tramontina.net).*

***Escola Politécnica, Universidade do Vale do Rio do Sinos, Brasil, (e-mail: jolegario@unisin.br).*

****Escola Politécnica, Universidade do Vale do Rio do Sinos, Brasil, (e-mail: marquesf@unisin.br).*

Abstract: The project comprises the development and implementation of an electric vehicle capable of moving around the manufacturing environment of a company, transporting goods and people through the many processes. The development addresses the need for improving systems and technologies currently available in the industrial market, adopting a more flexible technology than the one used nowadays. Most autonomous vehicles in factories use line trackers, but this project uses geographic coordinates to get around. The main objective is the creation of an autonomous electric vehicle (AEV) that moves around the factory using line tracking when indoors, and GPS when outdoors. By doing so, the vehicle will be able to travel on streets and pathways within the industrial park, regardless of the floor type or environment. When executed, the project reached the main goal by transporting people and supplies through a route created using geographic coordinates, with an error of less than 1.70m.

Resumo: O projeto consiste no desenvolvimento e implementação de um veículo elétrico capaz de percorrer um ambiente fabril de uma empresa, fazendo a locomoção de pessoas e materiais para os processos. O desenvolvimento vem ao encontro da necessidade de aprimorar os sistemas e tecnologias já existentes no mercado industrial para locomoção de materiais, passando para uma tecnologia mais flexível a que a utilizada atualmente. Os veículos autônomos nas indústrias utilizam principalmente seguidores de linha, porém o projeto desenvolvido nesse artigo utilizou-se de coordenadas geográficas para se locomover. O objetivo principal é a criação de um veículo elétrico autônomo que irá se deslocar dentro do ambiente fabril através de sistemas de locomoção por seguidor de linha e GPS nas áreas externas da empresa. Com essa possibilidade o veículo poderá se deslocar nas ruas e caminhos dentro do parque fabril, independente o tipo de piso e ambiente submetido. O projeto implementado atingiu o objetivo principal ao realizar o transporte de pessoas e materiais através de um percurso criado através de coordenadas geográficas, com um erro inferior a 1,70m.

Keywords: Electric Vehicle, GPS – Global Positioning System, AGV, Industrial Environment.

Palavras-chaves: Veículo Elétrico, GPS, Bússola, AGV, Ambiente Industrial.

1. INTRODUÇÃO

O uso da tecnologia no ambiente industrial atinge níveis cada vez maiores tendo em vista o atual investimento das empresas nos processos com automação. Outro ponto que vem avançando nos desenvolvimentos tecnológicos são os veículos autônomos, trazendo benefícios na locomoção e segurança aos usuários.

Unindo as tecnologias de mercado existentes e a necessidade de transporte de materiais em ambiente industrial com maior flexibilidade, o projeto vem para trazer a solução nesse segmento. A lacuna existente atualmente é nos AGVs, (*Automated Guided Vehicles*), que se fazem necessário demarcações ou criação rotas fixas nas empresas. Pensando na praticidade para as indústrias, o veículo elétrico desenvolvido é capaz de se locomover em ambientes industriais

transportando materiais e pessoas, utilizando tecnologia de localização geográfica, ou seja, se baseará nas coordenadas geográficas para realizar seu percurso.

A tecnologia GPS, (*Global Positioning System*), é aplicada para as rotas que o veículo percorre em ambientes externos. Para as situações internas, como corredores do ambiente industrial, sensores ópticos auxiliam a locomoção do veículo.

2. TRABALHOS CORRELATOS

Para uma análise e desenvolvimento desse projeto, foram utilizados artigos e trabalhos como base. Rodrigues (2017) apresentou informações e dados que foram utilizadas para avaliar a viabilidade e o mercados dos veículos elétricos autônomos. Como seria esse futuro e quais os níveis de

automação já existente hoje. Informações importantes para motivação da realização desse projeto.

Almeida et. al. (2019) apresenta um método que avalia os veículos guiado automaticamente (AGV) no ambiente industrial. Através dessa análise de aplicação no processo produtivo, conseguimos coletar dados de falhas e oportunidade de melhorias para esse segmento.

Friedmann (2008) trouxe informações e dados do uso da tecnologia GPS. Desde a forma de coleta de dados através dos dispositivos, precisão e exatidão do sistema. Já Veness (2019) vem ao encontro ao utilizar as coordenadas geográficas para calcular a distância entre pontos. Esse que será a base de todo projeto aqui apresentado e desenvolvido.

Oliveira et. al. (2017) realiza em seus métodos toda a análise da união de dispositivos como magnetômetro e GPS para desenvolver um veículo capaz de percorrer em um ambiente terrestre. Análises do autor foram utilizadas para desenvolvimento do projeto do veículo autônomo para ambiente industrial aqui apresentado, como erro de direção, correção de ângulo e distância entre coordenadas. Através do uso das análises desses autores, é possível realizar o deslocamento de um veículo através da tecnologia GPS.

3. FUNCIONAMENTO DO PROJETO

O projeto consiste no desenvolvimento de um veículo elétrico autônomo capaz de transportar funcionários e materiais dentro de um ambiente industrial, sem a necessidade de motorista. A grande diferença dos produtos existentes no mercado é a locomoção através do GPS, onde traz uma flexibilidade para o sistema e locomoção, não necessidade de demarcações fixas no solo a ser percorrido.

Todo o desenvolvimento do projeto foi implementado em um veículo elétrico de golfe de pequena proporção, conforme a figura 1. O sistema de *hardwares* e *software* foram desenvolvidos e instalados no produto. Foram desenvolvidas todas as partes de direção elétrica, sensoriamento de segurança, IHM (Interface Homem Máquina) ao usuário e controle das rotas no projeto, porém não são o foco desse artigo. Neste, será apresentado apenas o desenvolvimento da tecnologia GPS para aplicação específica do produto.



Figura 1: Veículo Elétrico de Golfe utilizado para desenvolvimento do protótipo.

3.1 Sistema de Posicionamento Global

O sistema de posicionamento global, GPS é um sistema que utiliza satélites para localizar onde o receptor do sinal está naquele momento. A tecnologia possui 24 satélites (*space vehicles*) espalhados em seis planos orbitais. (Monico, 2000). Os satélites são distribuídos em 6 órbitas planas distintas, sendo cada órbita constituída por 4 satélites. (Friedmann, 2008).

A localização geográfica ocorre em função da emissão de ondas de rádio dos satélites, que são captadas por receptores GPS na Terra. Quando decodificadas, fornecem a latitude, longitude e altitude (Upadhyay, 2019). Utilizam um sistema chamado de triangulação para determinar a localização do receptor na Terra. A triangulação funciona da seguinte forma: três satélites enviam o sinal para o receptor, que calcula quanto tempo cada sinal demorou a chegar nele. O encontro desses três sinais enviados cria um ponto a ser localizado, determinando a verdadeira posição do receptor de GPS (Friedmann, 2008).

O sistema de GPS pode apresentar alguns erros, os quais podem ser relevantes dependendo da aplicação da informação. A exatidão da localização fornecida pelo GPS é de 4 a 6 metros, dependendo da fonte do erro (Monico, 2000). Esse dado deve ser considerado no momento do desenvolvimento do projeto e criação de rotas.

3.2 Magnetômetro

Magnetômetro é um instrumento utilizado para medir a intensidade, direção e sentido de campos magnéticos. Quando o instrumento está instalado em satélites, é possível o mapeamento do campo magnético da Terra em detalhes, pois o magnetômetro é muito sensível e pode indicar atividades iônicas no plasma ionosférico. Também conhecido como bússola magnética, a sua principal função é a orientação, principalmente em áreas abertas (Stock, 2019).

O dispositivo utilizado no projeto utiliza uma tecnologia magnetorestiva anisotrópica, possuindo uma precisão de elevada linearidade. Este sensor mede a magnitude e a direção do campo magnético terrestre. Possui uma precisão de 2 graus e realiza medição através dos três eixos.

3.3 Funcionamento do Projeto

Através das informações do magnetômetro, ou como conhecida bússola magnética e o GPS, será desenvolvido um software na plataforma do hardware Arduino. O microcontrolador utilizado se comunicará com o controlador do veículo, enviando comando como aceleração, parada e velocidade. Essas informações serão processadas no microcontrolador para seguir uma rota pré-estabelecida. As rotas desenvolvidas e validadas nesse projeto foram dentro de um ambiente fabril localizado na cidade de Carlos Barbosa -

RS. A rota estipulada para os testes contempla situações de ambientes externos (piso asfalto) e interno.

A importância da realização dos testes da tecnologia em diversos tipos de terrenos e ambientes é fundamental para validar o projeto utilizado em qualquer empresa, independentes suas condições. A validação do projeto será realizada através de amostragem das rotas e a exatidão das informações fornecidas pelos dispositivos no projeto instalados.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Nesse capítulo será apresentado o desenvolvimento do *software* e cálculos utilizados para a utilização dos *hardwares* no projeto do veículo elétrico autônomo.

4.1 Hardware

Para todo o desenvolvimento do projeto foram necessários diversos tipos de *hardwares* e dispositivos, como sensores ópticos, laser, motor de passo, drivers e filtros. O desenvolvimento detalhado contemplará apenas os dispositivos principais para as tecnologias para deslocamento do veículo através do GPS.

O processador responsável para realizar todas as tarefas e ações foi utilizado o microcontrolador Arduino Mega, devido seu baixo custo e atender a demanda do projeto com entradas e saídas digitais e protocolos de comunicação necessários como I2C, Serial e SPI.

O dispositivo utilizado para obter a orientação do campo magnético da Terra foi o magnetômetro ou bússola magnética HMC5883L, do fabricante Adafruit. Esse componente nos permite saber o ângulo e direção que o veículo estará situado. Comunicação com o magnetômetro está dada com um endereço em uma rede *daisy chain* com protocolo I2C. Devido à interferência magnética dos dispositivos do veículo, como motores e ímãs, o magnetômetro foi instalado na região mais afastada destes componentes, assim evitando qualquer mudança da informação coleta do dispositivo.

O hardware para coleta dos dados geográficos foi acoplado ao microcontrolador Arduino Mega um *shield GPS Adafruit Ultimate Logger*. A comunicação do dispositivo é dada através de um endereço pela comunicação serial. O *hardware* do GPS envia, via comunicação serial, as coordenadas geográficas de latitude e longitude a cada um segundo ao processador para ser interpretado. Como todo o sistema de controle foi instalado sob o piso do veículo, o GPS não captou sinal. Dessa forma, foi instalado uma antena externa para comunicação com *shield*. A antena externa está localizada no teto do veículo, obtendo um sinal sem interferências.

4.2 Software – Sistema de posicionamento global

Nesta seção será apresentado o desenvolvimento do projeto do *software* para o sistema do VEA. O ambiente de

desenvolvimento utilizado foi o Arduino IDE, um aplicativo de plataforma cruzada, cuja linguagem de programação é escrita em Java, C e C++. Ele é usado para escrever e carregar programas em placas compatíveis com Arduino. A sequência de instruções seguidas e/ou executadas na manipulação, redirecionamento ou modificação de acontecimentos são divididas em etapas, como GPS e bússola magnética. A figura 2 apresenta o diagrama de blocos ilustrando as funções projetadas no *software* do veículo autônomo.

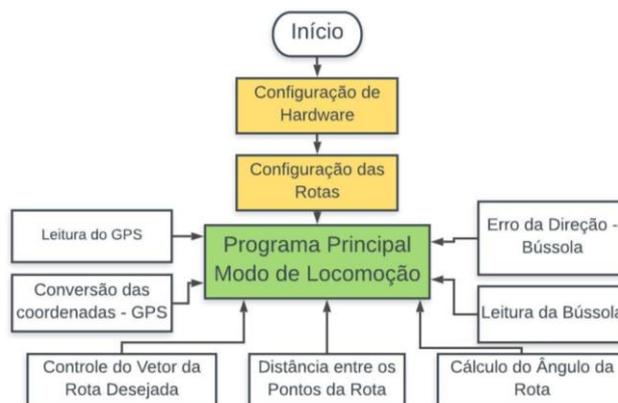


Figura 2: Diagrama de blocos apresentando todas as funções projetadas no *software* do veículo.

As linhas de comando permitem executar e realizar as tarefas desejadas para o veículo, obedecendo o objetivo principal do projeto. Essa etapa é fundamental, pois todas as situações e eventuais comandos permitidos devem ser contemplados, possibilitando que o veículo execute a rota e o movimento correto. A apresentação do *software* foi restrita à algumas informações por questões de confidencialidade, não possibilitando assim a cópia do projeto, devido esse projeto ter sido realizado em parceria com uma empresa privada.

O GPS é pouco implantado em veículos autônomos ou AGVs por sua complexidade e baixa exatidão para criação de rotas de deslocamento. Como um dos objetivos fundamentais deste trabalho foi projetar uma tecnologia com um desempenho satisfatório e baixo custo, foram implementadas rotas através do GPS. Neste sentido, o projeto do *software* é fundamental, pois permite tornar ao usuário o sistema mais flexível a mudanças de rotas.

Com a união dos dispositivos GPS e magnetômetro foi possível realizar comandos de deslocamento do veículo. A criação de rota através de pontos pré-selecionados das coordenadas de latitude e longitude fornecidas do GPS foi fundamental para iniciar os cálculos e o desenvolvimento do *software*. O uso desse método na determinação em veículos autônomos permite uma maior flexibilidade para as empresas, pois elas podem realizar alterações nos percursos sem a necessidade de alteração das linhas criadas no piso.

Antes de continuar a descrição do projeto, é necessária uma breve explicação a respeito do sistema de coordenadas utilizado pelo GPS. A latitude divide os polos norte e sul e é definida como a distância de um determinado ponto à linha do Equador. A longitude, por sua vez, separa o hemisfério oriental

(leste) e ocidental (oeste) e representa a distância até o meridiano de *Greenwich*. Tanto a latitude, como a longitude são representados em graus. Partindo-se do 0°, a latitude aumenta até 90° (para norte) e diminui até -90° (para sul), já para a longitude aumenta até 180° (para leste) e diminui até -180° (para oeste).

Após a realização da configuração do módulo do GPS através de comandos no software, o desenvolvimento do código inicia através da inclusão da rota a ser guiada pelo veículo elétrico. Deve ser inserido todas as coordenadas geográficas da rota, independente se o veículo estiver na linha ou no GPS. Incluindo os pontos do GPS é possível, mesmo se o veículo estiver percorrendo a linha, realizar correções de trajetória. Isso é útil caso aconteça alguma falha e o deslocamento saia da linha. Com o sistema implementado desta forma, a prioridade sempre será a rota do GPS. No entanto, como a precisão da linha é sempre maior, ao encontrar o trajeto, o veículo autônomo continua seu deslocamento.

Os pontos devem ser pensados fazendo com que o deslocamento seja contínuo, sem interrupções e mudanças de direção bruscas. Esses dados são incluídos no vetor e não permite alterações por parte do usuário. Com as rotas criadas, apenas programadores poderão realizar alterações nas rotas estabelecidas no protótipo desenvolvido. Não existe limites para inclusão de pontos do GPS no código. Essa rota possui trechos em ambiente externo e interno (ambiente fabril).

Adicionalmente, no desenvolvimento do *software* do GPS foi necessário realizar a conversão dos dados que o módulo obtém das coordenadas. O dispositivo retorna as informações em decimais por minutos, cujos valores são convertidos em ângulos decimais.

A lógica utilizada para deslocamento do veículo projetado pode ser dividida em duas etapas. A primeira compreende o cálculo da distância em metros através do ponto criado no vetor *waypoint* pré-definido e a coordenada atual do GPS. Isso faz com que o sistema interprete quanto falta para o veículo chegar até o ponto necessário. O cálculo parece simples, mas a forma correta não é tão básica, pois existe a necessidade de sempre considerar a curvatura da terra. A distância não é definida em uma linha reta, devido a precisão necessária para o produto.

Então, para realizar esse cálculo foi utilizado o conceito da fórmula Haversine, pois considera a curvatura da terra. Para isso, foi necessário iniciar o cálculo com a lei esférica dos cossenos (1) (Veness, 2019).

$$\cos(a) = \cos(b) \cdot \cos(c) + \sin(b) \cdot \sin(c) \cdot \cos(a) \quad (1)$$

Deriva-se a fórmula de Haversine para calcular a distância entre dois pontos como:

$$a = \sin^2\left(\Delta\left(\frac{\text{latdiferenca}}{2}\right)\right) + \cos\text{lat1} \cdot \cos\text{lat2} \cdot \sin^2\left(\Delta\left(\frac{\text{longdiferenca}}{2}\right)\right) \quad (2)$$

$$c = 2 \cdot \arctan^2(\sqrt{a}, \sqrt{(1-a)}) \quad (3)$$

$$d = R \cdot c \quad (4)$$

onde, $\Delta(\text{latdiferenca})$ é a diferença da latitude do ponto 1 com o ponto 2, $\Delta(\text{longdiferenca})$ é a diferença da longitude do ponto 1 com o ponto 2, R é o raio da terra, ou seja, 6.371 km e d é a distância calculada entre dois pontos.

Após determinar a distância entre os dois pontos, a segunda etapa foi descobrir a direção na qual os pontos se encontram. O ângulo de direção é geralmente utilizado para definir a navegação na aviação, navegação marítima ou para veículos terrestres. O "*Bearing*", como é conhecido nessa área, pode ser definido como o ângulo entre a linha norte-sul da terra (meridiano) e a linha de conexão entre o alvo e o ponto de referência. "*Rumo*" é o ângulo no qual se está navegando atualmente. Isso significa que para chegar a um destino específico é necessário ajustar a direção do *bearing* com o rumo. Para a obter esse dado utiliza-se um instrumento chamado magnetômetro ou bússola eletrônica. A bússola eletrônica retorna sempre os dados para o referencial do Norte Magnético, sendo 0°. Assim foi usado no *software* o Azimute para realizar os cálculos e gerar dados de 0 a 360°.

Através do dado da coordenada no ponto de destino incluído no vetor *waypointclass* e a coordenada atual obtida pelo módulo do GPS, é possível calcular na equação (5) a direção que o veículo deverá seguir para chegar ao alvo (Freitas, 2009).

$$\beta = \arctan^2\left(\frac{X}{Y}\right) \quad (5)$$

Onde X e Y são duas quantidades e podem ser calculados como as equações 6 e 7. Denote os pontos A e B como dois pontos diferentes, onde θ_a é o ponto A de latitude e θ_b é o ponto B de latitude.

$$X = \cos(\theta_b) \cdot \sin(\Delta L) \quad (6)$$

$$Y = \cos(\theta_a) \cdot \sin(\theta_b) - \sin(\theta_a) \cdot \cos(\theta_b) \cdot \cos(\Delta L) \quad (7)$$

Onde a L é a longitude, θ é a latitude e β é o ângulo do ponto de destino.

Assim, quando o veículo está operando no modo de navegação por GPS, o *software* de controle da direção das rodas interpreta o erro do ângulo entre os dois pontos, fazendo com que o veículo corrija a direção. O objetivo é sempre manter o erro "0", ou seja, manter o veículo na direção correta e em linha reta.

5. RESULTADOS

Nas seções anteriores foram apresentados o *hardware* e o *software* para implantação no veículo elétrico autônomo utilizando um modelo já comercializado para mercado de golfe. Esta seção, por sua vez, consiste na apresentação e análise da performance do VEA frente aos testes de validação, buscando atender todos os objetivos específicos planejados.

Todos os sistemas projetados neste trabalho foram instalados e programados no veículo, possibilitando a realização de rotas autônomas, conforme descrito nos itens acima. O projeto foi executado em etapas. Em cada etapa testes parciais foram aplicados para avaliar o desempenho de cada tecnologia e/ou sistema implantado. Dessa forma, os resultados serão apresentados de acordo com cada etapa.

A locomoção do veículo através de sistema de coordenadas geográficas representa certamente um grande diferencial das tecnologias utilizadas nos produtos de mesmo segmento. Atualmente, os veículos automotivos autônomos e AGVs não utilizam esse sistema para criação de rotas, mas apenas para guiar o rumo final. Nos veículos automotivos, os veículos optam por utilizar tecnologias RADAR (*Radio Detection And Ranging*) e LIDAR (*Light Detection And Ranging*), para enxergar a rota a frente, realizando os comandos ao veículo. Essas tecnologias utilizam princípios de varredura para identificar distâncias e posições de objetos. A diferença entre eles é que o LIDAR utiliza emissão de pulso a laser e o RADAR por ondas eletromagnéticas (Giongo, 2010). Essas tecnologias são muito caras, porém com uma precisão excelente.

Com a finalidade de atender a mesma função, porém com um custo inferior, foram criadas análises sobre rotas determinadas através de pontos geográficos. Conforme discutido anteriormente na seção 2 os dispositivos GPS apresentam em teoria um erro de até 6 m. Esse dado é de grande importância, pois ao criar uma rota que pode apresentar esse erro torna possível que o veículo colida em algum obstáculo lateral. O melhor resultado obtido foi o GPS do fabricante Adafruit, aqui utilizado no projeto, apresentando nos testes erro inferior a 2 m. Quanto maior o número de satélites dos quais são extraídos dados, mais precisa será a informação da coordenada.

A principal vantagem da utilização desta tecnologia é a flexibilidade na criação de rotas, pois não se faz necessária a criação de linhas, perfurações de piso e marcações físicas. É necessário apenas obter qual a coordenada geográfica dos pontos que o veículo deverá percorrer e registrar a latitude e longitude no vetor criado no *software*. Neste sentido, foram criadas cinco rotas, a fim de obter a análise da precisão das coordenadas do GPS. Nesse ambiente alguns obstáculos foram encontrados, como áreas de interferência de prédios e árvores, possibilitando que o sistema diminua sua exatidão. Foi necessário avaliar essa condição adversa para determinar o desempenho em diversas situações. Nos testes em ambiente aberto, o módulo Adafruit conseguiu obter até 7 satélites, garantindo uma exatidão aceitável. Nos ambientes com interferência de construções e área interna dos pavilhões, o módulo coletava informação de 4 a 5 satélites, perdendo exatidão.

A partir dos dados obtidos, foram criados pontos e o resultado foi analisado comparando o módulo com a informação do *Google Maps*. Foram usados pontos de referência para medir a distância, obtendo a diferença do erro. Através dos dados analisados conclui-se que as coordenadas coletadas de satélites pelo módulo de GPS em ambiente aberto estão com um erro

de +/- 1,70 m, satisfazendo o erro teórico aceitável de 5 m. Em ambientes internos, o erro é elevado para +/- 5,37 metro, confirmando a desvantagem de usar a tecnologia GPS em ambientes sem acesso ao sinal.

A partir dos resultados expostos, confirma-se que houve êxito na incorporação de tecnologias ao VEA. Ao percorrer ambientes internos, o veículo é monitorado através do GPS, porém com o seguidor de linha predominante. Ao deslocar-se em ambiente aberto ou com pequenas interferências, o veículo opera ao módulo de locomoção através das coordenadas, apresentando um resultado satisfatório. A análise do módulo de GPS também abrangeu a verificação da utilização desta tecnologia nas rotas e locomoção que se faz necessária para atendimento das rotas estabelecidas. O veículo não se desloca apenas com o sistema de GPS, exigindo a necessidade do magnetômetro para guiar-se a direção. Dessa forma, esses dois dispositivos foram analisados com testes práticos realizados na planta da empresa em estudo.

O primeiro aspecto a ser avaliado foi o cálculo da distância em metros dos pontos do GPS pré-definidos no vetor do *software*. Esse é um dos pontos que faz que o sistema entenda se foi atingido o objetivo e passe a buscar o novo ponto da rota. Foram obtidos resultados satisfatórios nas análises realizadas, pois ao se aproximar do ponto real, o sistema buscou o próximo ponto. Todas essas análises foram avaliadas diretamente no monitor serial, considerando cada variável em estudo. Foi programado no *software* que o sistema interprete como alvo atingido quando veículo estiver a uma distância inferior a 4 m. Neste sentido, foram realizadas 15 amostras calculando a distância entre os pontos da rota pré-definida comparado com a distância real. A média do erro da distância obtida através do *software* foi de 2,3 m. Esse resultado atende o especificado, pois o *software* está programado para buscar um novo ponto da rota quando obter um valor de distância superior ao encontrado nas análises.

O último ponto avaliado no quesito locomoção por GPS foi a direção que o veículo deve seguir. Para atender essa demanda foi utilizado a informação da coordenada de destino e dados da bússola. Acompanhando os testes, foi observado que o cálculo está sendo realizado corretamente, fazendo com que o veículo realize o ajuste da direção. A figura 3 apresenta o momento da análise do cálculo da direção, apontando que o veículo está na direção correta. Os testes foram realizados com o veículo parado, apresentando um erro da direção inferior a 6°.



Figura 3: Ângulo calculado da direção do veículo através da bússola magnética eletrônica.

Apesar do cálculo estar sendo realizado corretamente, algumas dificuldades foram encontradas. Nas análises e testes realizados o veículo não mostrou bom desempenho, pois não conseguiu se deslocar perfeitamente na rota. O retorno dos cálculos do ângulo e diferença do erro estavam corretos, porém houve um atraso nos cálculos, fazendo o veículo perder a estabilidade da direção, pois o módulo do GPS possuía um atraso em atualizar a informação da coordenada real. Assim, ao receber a nova informação, o veículo estava com um erro de direção superior ao que deveria. Esforços foram feitos para otimizar *software* e deixá-lo mais rápido para que fosse possível obter melhores resultados. Antes de atualizar o cálculo, o erro era de até 15° necessitando interferência humana para ajustar a direção da bússola.

A perda da estabilidade da direção faz com que o veículo não realize uma rota uniforme, gerando atrasos em seu deslocamento. O ideal é que o veículo realize seu deslocamento de uma forma suave, sem grandes movimentos de alteração de direção. Apesar do resultado não ter sido o ideal, ele atende o objetivo original de deslocamento do veículo entre diversos pontos das coordenadas geográficas. Através dos dados analisados, uma proposta possível a ser implantada para melhorar o desempenho do sistema é a criação do *software* do veículo através de microcontroladores capazes de operar através de sistema operacional *RTOS*, (*Real Time Operating System*) realizando operações de multi tarefas com períodos de execução pré-definidos. Dessa forma, enquanto um sistema ficaria calculando e direcionando o veículo, outra tarefa operaria simultaneamente para realizar o controle da direção. Com esse sistema, não seria necessário esperar os processos finalizarem para iniciar outro comando.

Com os resultados obtidos nessa etapa, pode-se concluir que o com a união das duas tecnologias estudadas o veículo elétrico autônomo conseguiu realizar sua rota buscando cada ponto da rota pré-definido. O veículo projetado realiza a passagem da sua rota dentro da tolerância de 4 m definida pelo projeto. O atendimento do objetivo de deslocamento por GPS é comprovado pelas análises e testes realizados. A figura 4 apresenta ilustração de uma das análises realizada da direção do veículo em seu deslocamento comparado ao ponto da rota a ser seguida. Os pontos destacados na imagem ilustram os pontos pré-definidos na rota de deslocamento e a linha é o trajeto que o veículo percorre.



Figura 4: Análise do erro de deslocamento com o ponto da rota criada.

Um último ponto relevante nesta análise que demonstrou resultados satisfatórios foi a criação do *software* do deslocamento da linha, com controle externo do GPS. Isso quer dizer que quando o veículo estiver se deslocando através da linha e por algum motivo sair da rota pré-definida, o sistema de GPS irá entrar em ação a fim de corrigir o erro e retornar para a linha. O GPS não foi utilizado em todos os ambientes devido à imprecisão da coleta dos dados em ambientes fechados. Porém, estará sempre rodando em segundo plano a fim de avaliar se o veículo está dentro da rota principal projetada.

Através de diversas análises realizadas nas seções anteriores, foi possível verificar que o veículo realiza a locomoção de forma autônoma de duas maneiras. A união dessas tecnologias aumenta as opções de tecnologias que podem ser usadas nos segmentos de carros automotivos e AGVs. O projeto e implantação de protótipo do veículo autônomo gerou diversos resultados que podem ser utilizados para aprimoramento das tecnologias dos dispositivos e equipamentos autônomos. O GPS é uma tecnologia antiga utilizada na área de locomoções, mas muito pouca explorada na aplicação de deslocamentos de forma autônoma. Atualmente esse sistema é utilizado apenas para guiar e localizar equipamentos no espaço, porém através deste projeto, foi apresentada a possibilidade de incorporar essa tecnologia para traçar rotas e deslocamentos de veículos de uma maneira flexível. Algumas falhas foram obtidas nas avaliações do projeto, mas nenhuma impediu de atender o objetivo geral traçado, desenvolver um veículo capaz de transportar materiais e seres humanos em diversos ambientes de forma autônoma.

6. CONCLUSÕES

A realização desse projeto proporcionou a utilização de diversos dispositivos e tecnologias já existentes em uma determinada aplicação para criar um produto capaz de percorrer rotas e deslocar-se de forma autônoma. Este é um assunto muito comum atualmente, pois o avanço da automação nos equipamentos utilizados nas indústrias proporcionou um aumento das possibilidades, a fim de desenvolver funções de forma menos onerosa. Nos ambientes industriais, o custo de todo o desenvolvimento deve ser levado em consideração, pois pela competitividade do mercado as empresas têm buscado economia em produtos e processos.

A fim de unir dois segmentos dos sistemas de locomoção utilizados atualmente, os AGVs e os veículos autônomos, foram desenvolvido um protótipo capaz de incorporar ambas as tecnologias em uma única aplicação. Os AGVs possuem falhas e são incapazes de atingir certos requisitos. Assim, buscou-se desenvolver uma nova forma de deslocamento, otimizando a forma de operação. Os AGVs não apresentam flexibilidade na forma de locomoção, sendo necessário o desenvolvimento de rotas físicas nos pisos das empresas. Eles são incapazes de transportar pessoas, o que também motivou a reflexão a respeito da possibilidade de aprimorar esta tecnologia. Assim surgiu o projeto desenvolvido por este trabalho. Um projeto capaz de realizar operações de deslocamento de pessoas e materiais, dentro de um ambiente fabril (interno e externo), de forma autônoma, utilizando as

tecnologias de GPS e guias seguidor de linha na determinação e condução de rotas.

O desenvolvimento desse projeto comprova a flexibilização que o veículo elétrico autônomo traz para o ambiente industrial, não sendo necessária a instalação de sistemas para que o veículo percorra uma rota. Neste sentido, as empresas podem ter o projeto deslocando-se em ambiente externo sem demarcações em suas vias. Se for necessário trocar a rota, o usuário realiza novos pontos apenas utilizando um *software*, não danificando pisos ou vias para retirada de rotas.

A partir dos dados apresentados neste trabalho, podemos afirmar que o veículo atendeu todos os requisitos e objetivos estipulados para aplicação de deslocamento de pessoas e materiais, sem a necessidade de motorista e de uma forma segura. Apesar disso, algumas falhas foram encontradas, conforme exposto nas seções anteriores. Assim, por mais que a tecnologia atenda os objetivos, diversos fatores precisam ser otimizados para gerar um produto que possa futuramente ser comercializado.

Um dos desafios do projeto foi o desenvolvimento das rotas de locomoções através do GPS e do magnetômetro. Essas duas tecnologias são pouco usadas para traçar rotas. Na maioria das vezes, são empregadas apenas para guiar dispositivos, ou seja, o GPS apenas informa aos dispositivos a rota final ou traça rotas virtualmente para os usuários, sem executar ações através das informações geradas pelo GPS. Os veículos autônomos em desenvolvimento acabam utilizando tecnologia *LIDAR* garantindo uma precisão muito superior do que o GPS. Isso foi comprovado por alguns resultados obtidos nas análises da tecnologia.

O desenvolvimento do veículo autônomo propõe a discussão sobre até que ponto essa tecnologia poderá ser utilizada para desenvolvimento de sistemas de locomoção de pessoas. No projeto desenvolvido, apesar de não apresentar uma estabilização em suas rotas externas, foi possível realizar o comando de rotas de forma automática sem necessitar da presença do usuário para dar comandos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo da minha vida pessoal e acadêmica. Muito obrigado aos meus pais pelo amor e incentivo durante as dificuldades encontradas no caminho. Agradecimento especial a empresa Tramontina por apoiar um projeto de inovação em seu ambiente corporativo. Especial aos Dr. Rodrigo Marques de Figueiredo e Ms. João Olegário de Oliveira de Souza pelos ensinamentos e apoio na elaboração desse projeto.

REFERÊNCIAS

Almeida, E. R., et al. (2019). *Aplicação de veículo guiado automaticamente nas diversas áreas de produção da indústria: revisão sistemática da literatura*. ConBRepro.

Freitas, T. R. B., (2009). *Geospatial Data Processing for GPS Navigation Systems*. Master in Informatics and Computing Engineering. Pages 19.

Friedmann, R.M.P. (2008). *Fundamentos de Orientação, Cartografia e Navegação Terrestre*, ed 2. Editora UTFPR.

Giongo, M., et al. (2010). *LiDAR: princípios e aplicações florestais*. Pesquisa Florestal Brasileira. Pages 14.

Monico, J.F.G. (2000). *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações*. São Paulo: Editora UNESP, p287.

Rodrigues, L. C. (2017). *Fundamentos, tecnologias e aplicações de veículos autônomos*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Ponta Grossa.

Stock, T., (2019). *Electronic Compass Design using KMZ51 and KMZ52*. Philips Semiconductors. Pages 38.

Upadhyay, A., (2019). *Formula to Find Bearing or Heading angle between two points: Latitude Longitude*. IGIS MAP, Disponível em: <https://www.igismap.com/formula-to-find-bearing-or-heading-angle-between-two-points-latitude-longitude/> - Acesso em 16-09-2019.

Veness, C., (2019). *Calculate distance and bearing between two Latitude/Longitude points using haversine formula in JavaScript*. Disponível em: <https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html> - Acesso em 16-09-2019.