Desenvolvimento de Sistema Autônomo de Navegação e Controle para o Maglev-Cobra com Sensoriamento GPS de Alta Precisão ⋆

Amado. César Augusto G. * **Messer. Gabriel K.** ** **Campista. Miguel Elias M.** * **Costa. Luís Henrique M. K.** * **Stephan. Richard M.** **

* *DEL/Poli e PEE/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil (e-mail: cesar.amado@gta.ufrj.br, miguel@gta.ufrj.br e luish@gta.ufrj.br).*
** *DEE/Poli e PEE/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, (e-mail: gabriel.messer@coppe.ufrj.br e richard@poli.ufrj.br).*

Abstract: This paper proposes the development of a vehicular automation and remote sensing framework capable of making the MagLev-Cobra an autonomous vehicle. The project aims to enable control of the magnetic levitation vehicle through a Programmable Logic Controller (PLC) that responds to signals from a microcomputer equipped with a high-precision GPS (Global Positioning System) sensor. This project encompasses the intersection between theory and practice regarding future technologies applied to vehicles, covering knowledge in electrical engineering, control, and data processing. So far, the project has been successful in simulations, calibrations, and sensor studies.

Resumo: Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma estrutura de automação veicular e sensoriamento remoto capaz de tornar o MagLev-Cobra um veículo autônomo. O Projeto almeja tornar possível o controle do veículo de levitação magnética por meio de um Controlador Lógico Programável (CLP) que, por sua vez, responde a sinais advindos de um microcomputador equipado com um sensor GPS (*Global Positioning System*) de alta precisão. Este projeto contempla a interseção entre a teoria e a prática acerca das futuras tecnologias aplicadas aos veículos, englobando conhecimentos de engenharia elétrica, controle e processamento de dados. Até o momento, o projeto foi bem-sucedido nas simulações, calibrações e estudo dos sensores.

Keywords: MagLev; vehicular automation; remote sensing; Programmable Logic Controller (PLC); high-precision GPS; data processing; magnetic levitation vehicle.

Palavras-chaves: MagLev; automação veicular; sensoriamento remoto; Controlador Lógico Programável (CLP); GPS de alta precisão; veículo de levitação magnética.

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana contemporânea enfrenta desafios crescentes, sendo movida pelo avanço tecnológico e também pela demanda de sustentabilidade e eficiência energética. Neste sentido, o Maglev-Cobra (Stephan and Deng, 2023), desenvolvido pela UFRJ, surge como um veículo de levitação magnética que desafia o paradigma de transporte urbano convencional. Apesar de seu funcionamento ser inovador, o Maglev-Cobra ainda requer controle manual, o que representa uma fronteira a ser vencida para alcançar a plena automação.

Neste trabalho propõe-se, portanto, o desenvolvimento de um sistema de automação e sensoriamento veicular que permita que o Maglev-Cobra realize a aceleração e frenagem de forma autônoma. Este sistema completa as pesquisas anteriores do Grupo de Teleinformática e Automação (GTA) da UFRJ (Pinto Neto et al., 2016), integrando um sensor de GPS de alta precisão que tem o objetivo de eliminar a necessidade de algoritmos de correção externos. O projeto emprega um inversor de frequência, gerido por um controlador lógico programável (CLP), que recebe comandos de um módulo computacional. Esse processa os dados do sensor GPS, empregando correção RTK (*Real Time Kinematic*) e dados NTRIP *(Networked Transport of RTCM* [*Radio Technical Commission for Maritime Services*] *via Internet Protocol*) fornecidos por uma estação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para alcançar a localização do veículo com precisão centimétrica. Ademais, para aumentar a confiabilidade dos dados de velocidade, também utilizados na automação do veículo, o sistema empregará adicionalmente um sensor óptico de velocidade.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta, em detalhes, a estratégia abordada para desenvolver um sistema de sensoriamento veicular e como foram

⋆ O projeto foi financiado com recursos da CAPES, CNPq e FAPERJ.

conduzidos os testes em bancada. A Seção 3 explica os resultados finais das análises realizadas ao longo do documento. A Seção 4 apresenta outros projetos anteriormente desenvolvidos nos quais esta pesquisa se baseou. A Seção 5 discute as conclusões deste trabalho e as suas expectativas futuras.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada para a automação do MagLev-Cobra centra-se no desenvolvimento de um sistema de controle veicular integrado, utilizando um inversor de frequência CFW11 acionado por sinais lógicos de um mini-computador Raspberry Pi, um sensor GPS RTK de alta precisão (modelo ZED-F9P-01B-01) para coleta de dados de posição e, ainda em fase preliminar de implementação, um sensor de velocidade. Para os cálculos de distância, a fórmula de haversine foi utilizada para traduzir para metros a distância entre duas medições de posição do GPS RTK. A distância d entre dois pontos é calculada de acordo com as seguintes equações:

$$d = R \cdot c, \tag{1}$$

$$c = 2 \cdot \text{atan2}\left(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}\right), \tag{2}$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos(\phi_1) \cdot \cos(\phi_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right), \tag{3}$$

onde $\Delta\phi$ é a diferença entre as latitudes dos dois pontos em radianos e $\Delta\lambda$ é a diferença entre as longitudes dos dois pontos em radianos. Além disso, ϕ_1 e ϕ_2 são as latitudes dos dois pontos em radianos. A função `atan2` é uma variação da função arco tangente que leva dois argumentos, y e x, e retorna o ângulo θ entre o eixo x positivo e o ponto dado por (x, y), ou seja, a função calcula o ângulo cuja tangente é y/x. R é o raio da Terra e d é a distância total entre os dois pontos ao longo da superfície do planeta. Essa distância d é o parâmetro que determina o momento de frenagem do veículo.

2.1 Definição da interface entre controladores

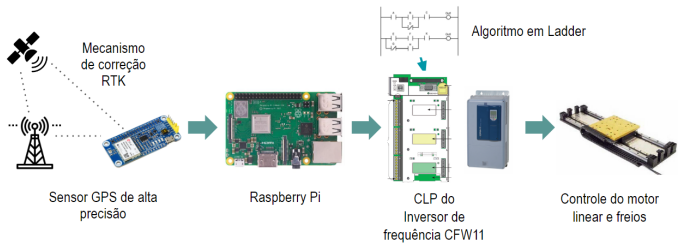

Figura 1. Diagrama esquemático da estratégia de comunicação abordada.

O diagrama de comunicação da solução proposta está representado na Figura 1. São utilizados satélites GPS e uma torre de serviço RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS [Global Navigation Satellite System]) do IBGE. A torre RBMC envia dados NTRIP para o sensor de GPS RTK ZED-F9P-01B-01. O NTRIP é um protocolo utilizado para transmitir dados de correção diferencial, por meio da Internet, para sistemas de posicionamento por GNSS, como o GPS. À direita desse dispositivo, há um computador Raspberry Pi 1 que interpreta os dados do sensor e envia sinais ao CLP (WEG, 2010) do inversor de frequência CFW11 (WEG, 2019). Esse inversor foi configurado por meio da linguagem Ladder utilizando o programa WLP (*Weg Ladder Programmer*) (WEG, 2016). O motor linear representado no diagrama serve como prova de conceito da aplicação desta configuração ao motor do MagLev-Cobra. Para comunicar-se com o inversor de frequência, utilizam-se as entradas digitais do dispositivo. Para isso, foi utilizada a fonte de 25 V que o dispositivo CFW11 detém para ativar as suas entradas digitais, vinculadas a contatoras do código em Ladder, por meio do Raspberry Pi. Com essa estratégia, o microcomputador envia sinais lógicos em suas saídas digitais, pinos GPIO (*General Purpose Input/Output*), para acionar um relé que ativa as entradas digitais do inversor por meio da sua própria fonte de tensão.

2.2 Realização de testes preliminares

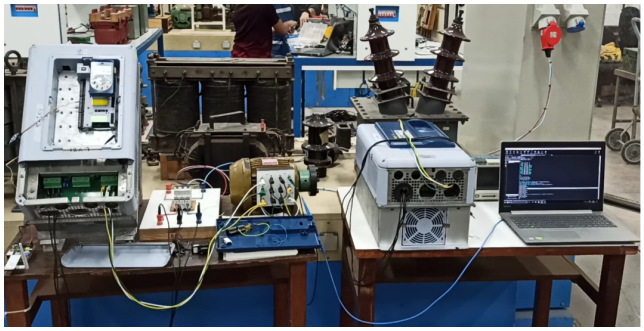

Figura 2. Teste realizado com motor rotativo de bancada.

Ao longo de uma série de testes, foi desenvolvido um código em Ladder capaz de simular, com um motor de bancada, a situação do MagLev-Cobra se deslocando entre duas estações. Nessas simulações, os sinais de frenagem eram substituídos pela ativação forçada de entradas digitais nos testes iniciais e, posteriormente, passaram a ser feitos com um computador Raspberry Pi e um relé.

Em detalhes, na Figura 2, o Raspberry Pi está atuando como ponto de acesso, sendo acessado pelo notebook à direita da imagem. Devido ao fato de, naquele momento, ainda não se ter adquirido o sensor de GPS, o notebook controlava o Raspberry Pi, e simulou o instante de parada. Naquela situação, uma saída digital do controlador enviava, por meio do relé, uma tensão de ativação da entrada do inversor de frequência que desencadeia as funções de controle do veículo. No teste da imagem, presente em Amado (2023), foi feito o modelo mais simples de apenas inverter o sentido após temporização. Nas simulações posteriores, foram contemplados mais detalhes sobre o protótipo deste MagLev disponível no momento.

A estrutura disponível atualmente na Ilha do Fundão corresponde a uma plataforma que levita sobre os trilhos magnéticos que ligam a estação CT1 à CT2. Tais estações ficam, respectivamente, localizadas nos prédios do Centro de Tecnologia 1 e Centro de Tecnologia 2. A distância entre

as estações CT1 e CT2 é de 160 m, e a CT2 se localiza a uma altitude 1,5 m superior ao CT1.

Quando o conjunto, na bancada, é simulado em direção à estação CT2, o desligamento do motor é sucedido do sinal do comando de parada temporizado e reiniciado no outro sentido (indo para CT1) após um tempo determinado. Nesse novo sentido, o processo se repete, mas o método de frenagem consiste em inverter o sentido de rotação do veículo e acelerar no sentido oposto por alguns segundos, reduzindo a velocidade do veículo, pois esse sentido possui a aceleração da gravidade ao seu favor.

Os procedimentos de frenagem exigem que o inversor detenha a informação precisa da velocidade instantânea do veículo. Para isso, será empregado o sensor de velocidade CORREVIT L-350 Aqua. Presente no Laboratório de Máquinas Elétricas (LABMAQ), o dispositivo está em fase de calibração e, até o presente momento, ainda não foi testado no inversor. A proposta do uso desse sensor é fazer com que o CFW11 seja realimentado com a informação da velocidade do motor. Na configuração atual, o inversor trabalha no modo *sensorless*. Assim, existe um algoritmo que estima a velocidade, baseado nas correntes e tensões de saída. No modo realimentado, o valor de velocidade é diretamente informado ao CFW11, fazendo com que ele tenha menos oscilações de velocidade significativas e realize frenagens mais acuradas.

É necessário destacar que, apesar de os dados de velocidade poderem ser extraídos, também, do próprio sensor GPS RTK, foi decidido que o CORREVIT L-350 Aqua seria empregado para esta função. Isso se justifica pelo fato de este sensor ter apresentado maior acurácia nos procedimentos de calibração, enquanto o sensor GPS RTK, durante todo o estudo, apresentou medições incertas.

2.3 Estudo do sensor GPS RTK

O sensor GPS RTK escolhido foi o ZED-F9P-01B-01 da Ublox (u-blox, 2023). Neste projeto, ele atua como receptor móvel (*rover*) que se move e cuja posição precisa é desejada. Ele recebe dados NTRIP de uma estação base e calcula correções por meio de técnicas de posicionamento diferencial em tempo real (RTK). Essas correções são aplicadas para determinar a posição exata do *rover* com alta precisão e confiabilidade. Essas correções são necessárias devido a erros, como o atraso do sinal na ionosfera e na troposfera, e a imprecisão na órbita dos satélites. As correções calculadas pela estação base são transmitidas ao receptor móvel, e, em teoria, esse sensor é capaz de atingir um erro de 2 cm quando alimentado com dados advindos de uma estação a menos de 50 km de distância.

A estação que fornece os dados NTRIP é a estação ONRJ (IBGE - Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC, 2007) do serviço RBMC do IBGE. Estando situada em São Cristóvão, muito próxima dos locais de teste realizados com o dispositivo, era esperado que o erro alcançado fosse da ordem de grandeza de unidades de centímetro em um cenário urbano. Nessa situação, o desvio padrão das amostras foi baixo de um metro, sendo de 93,3 cm. A hipótese mais provável para um erro ainda razoável é a de que as interferências advindas das estruturas físicas ao redor do ponto de medição interferem na acurácia do sensor.

2.4 Calibração do sensor de velocidade

O sensor de velocidade a ser implementado no MagLev-Cobra é um sensor óptico de 1 eixo sem contato para medições livres de deslizamento de dinâmicas longitudinais, como distância, velocidade e aceleração. É capaz de medir velocidades entre 0,3 e 250 km/h, sua taxa de atualização é de 250 Hz e a linearidade da velocidade é menor do que $\pm 0,2\,\%$. Sua saída analógica é um sinal de tensão entre 0 e 10 V e, além disso, há também um sinal de saída digital. O sensor ainda vem acompanhado de um programa de computador para configuração de diversos parâmetros.

Considerando a velocidade máxima que o MagLev-Cobra pode atingir, a sensibilidade do sensor deve ser modificada para melhor atender o veículo. Dessa forma, através do programa de computador KiCenter, reduz-se a faixa de velocidade para que o valor máximo a ser medido seja 25 km/h. Assim, a sensibilidade é 2,5 km/h/V ou 0,4 V/km/h.

Apesar da configuração via programa de computador, é necessário realizar uma calibração manual para conferir se os dados de entrada e saída estão compatíveis com a sensibilidade definida. O ensaio foi realizado com auxílio de um disco acoplado em uma máquina rotativa no LABMAQ da UFRJ. A velocidade de rotação do disco e a tensão de saída do sensor foram medidas através de um tacômetro digital e um osciloscópio digital, respectivamente.

O procedimento se deu da seguinte forma: a velocidade de rotação do disco foi incrementada desde 100 até 550 RPM em intervalos de 50 RPM, aproximadamente, e então reduzida novamente até 100 RPM com os mesmos intervalos. A cada ponto de variação, anotava-se a velocidade de rotação e a tensão de saída. Esse procedimento de incremento e redução de velocidade foi realizado quatro vezes, totalizando oito tomadas de dados. A Figura 3 exibe os pontos de medição do ensaio em cada um dos intervalos. Como pode-se observar, há uma aparente relação linear entre velocidade e tensão (como era esperado), exceto nos dois últimos intervalos de medição, que provavelmente já estavam na região de saturação do sensor (tensão medida acima de 10 V). Calculando-se o desvio padrão dos dados em cada um dos intervalos medidos, constata-se que o maior valor é 0,0484, o que indica uma boa repetibilidade de medição do sensor.

Desconsiderando os pontos na região de saturação, realiza-se duas regressões lineares distintas para obter a curva de calibração do sensor. Uma delas será chamada de "simples" e a outra de "completa". A única diferença entre essas duas regressões lineares é a utilização ou não do termo independente da equação de primeiro grau. Além disso, para fins de comparação, utiliza-se o raio (medido) do disco para converter os valores de velocidade de RPM para km/h. Com isso, será possível comparar as regressões lineares com a reta ideal que seria obtida com a sensibilidade configurada via programa de computador. Os resultados estão mostrados na Figura 4. Como pode-se ver, a regressão linear simples aproxima-se da reta ideal exceto por uma pequena diferença de inclinação. Por outro lado,

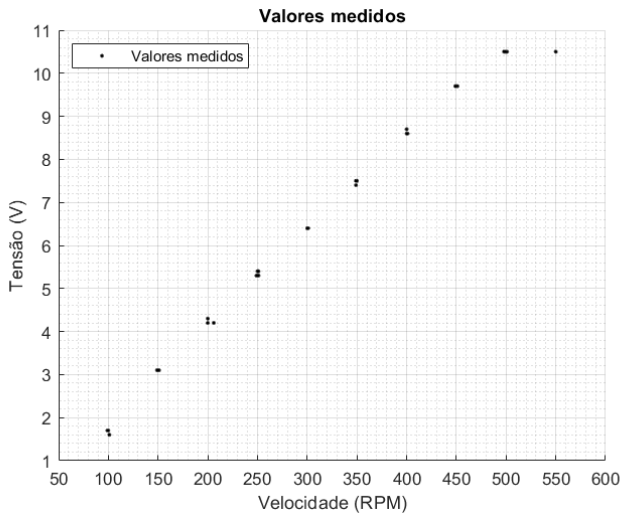

Figura 3. Tensão em função da velocidade do motor.

a regressão linear completa adequa-se mais aos valores medidos. Essas diferenças para a reta ideal podem ser explicadas por diversos fatores, como pequenos erros de medição provenientes dos instrumentos utilizados ou no procedimento em si, que utilizou um disco rotativo para um sensor de velocidades lineares. De qualquer forma, os resultados obtidos são satisfatórios e validam a utilização do sensor no veículo. Comprova-se, também, que os dois últimos intervalos de medição já estavam na região de saturação do sensor, acima dos 25 km/h.

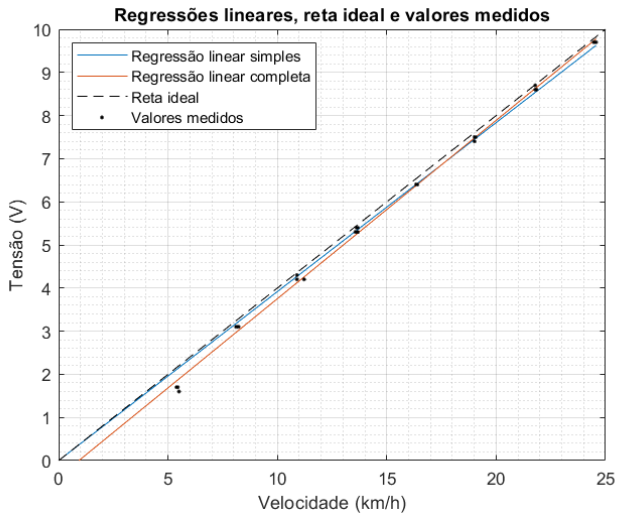

Figura 4. Regressões lineares, reta ideal e valores medidos no ensaio de velocidade linear.

Futuramente, pretende-se realizar uma nova calibração do sensor, porém dessa vez utilizando-o no veículo em si, de forma a validar em definitivo os resultados obtidos neste ensaio.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos até o momento delineiam um progresso no caminho para a automação do MagLev-Cobra. A implementação inicial do sistema de automação veicular mostrou-se promissora nos testes realizados com o motor de bancada, indicando que o controle de aceleração e frenagem é viável por meio do esquema proposto. As simulações refletiram com razoável precisão o comportamento esperado do MagLev-Cobra em um ambiente controlado, com a ativação e desativação das entradas e saídas digitais do inversor de frequência, sinalizando a funcionalidade do código em Ladder desenvolvido.

O microcomputador, agindo como um ponto de acesso, demonstrou a capacidade de comunicação efetiva com os componentes do sistema, permitindo o controle remoto necessário para simular as condições de parada. É previsto que nos próximos meses seja possível realizar pelo menos um teste com o sistema proposto.

As análises acerca da precisão do sensor GPS RTK ZED-F9P-01B-01 da Ublox concluiram um desvio padrão menor que um metro, o que representa uma melhoria em comparação com os sistemas GPS tradicionais Neto et al. (2020), visto que o desta pesquisa usa apenas um sensor. Apesar disso, a integração com os dados NTRIP da estação ONRJ não mitigou totalmente o erro de medição para situações não ideais de interferência de estruturas urbanas.

Sobre esse erro, ao analisar 3500 amostras corrigidas com o sensor parado, em ambiente *indoor*, a distância média em relação à coordenada exata foi de 91 cm. Como o dispositivo estava parado, o valor esperado era 0 cm. Do mesmo modo, o desvio padrão entre as amostras foi de 93,3 cm. Além disso, o RMS (Root Mean Square Deviation) alcançado nessas amostras foi de 1,5 m. Nesse ponto, é crucial ressaltar que a imprecisão do sensor GPS é um fator a ser aprimorado, mas que não inviabiliza o funcionamento do sistema autônomo proposto. Nas Figuras 5, 6, 7 e 8, as medidas corrigidas estão representadas com os valores de latitude e longitude das 500 amostras analisadas, em que no eixo horizontal tem-se o valor da coordenada, e no eixo vertical a frequência com que ela ocorre. Analisando os resultados, é possível concluir que o erro atrelado às medições em um cenário não ideal foi maior, com medidas mais dispersas e com desvio padrão próximo de 1 m.

Nos dados coletados no campo de futebol, 95% das amostras de latitude estão entre -22.86337^o e -22.86336^o, enquanto, para longitudes, 86% se encontram entre -43.22932^o e -43.22931^o. Para melhor visualização, tratando os limites inferiores e superiores como dois pontos distintos no espaço, a distância entre eles, em metros é de 1,02 m.

Nas amostras em ambiente *indoor*, 100% das amostras de latitude estão entre -22.84113^o e -22.84112^o, enquanto, para longitudes, apenas 62% se encontram entre -43.30052^o e -43.30048^o. Nesse cenário, o sensor teve um desempenho mais satisfatório para latitudes. Na mesma comparação anterior, a distância entre esses pontos, em metros, foi de 4,09 m. Foi selecionado um intervalo maior para poder agrupar um número mais significativo de amostras de longitudes.

Assim, ficou nítido que o sensor depende de condições ideais para operar com um diferencial significativo em relação a um sensor de GPS sem correção RTK, condições estas difíceis de se conseguir em um cenário de mobilidade urbana.

Os próximos passos são explorar as medições de posição que podem ser extraídas do sensor óptico de velocidade e compará-las às do sensor GPS. Com o presente desempenho, este sensor GPS atuando sozinho na tarefa de mensurar a posição instantânea não é suficiente para garantir uma operação automática segura. Para futuros testes, serão exploradas técnicas de aumento de precisão, pois o sistema é funcional e compatível com outros GPS e formas de cálculo de posição, podendo ser aproveitada também a metodologia aplicada em Neto et al. (2020), usando mais sensores GPS, mas com a correção RTK.

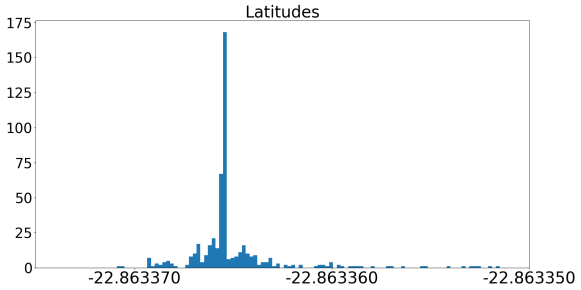

Figura 5. Latitudes coletadas no campo de futebol.

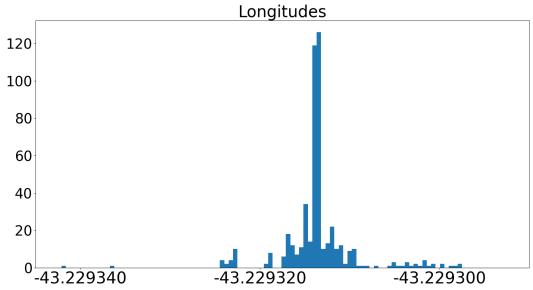

Figura 6. Longitudes coletadas no campo de futebol.

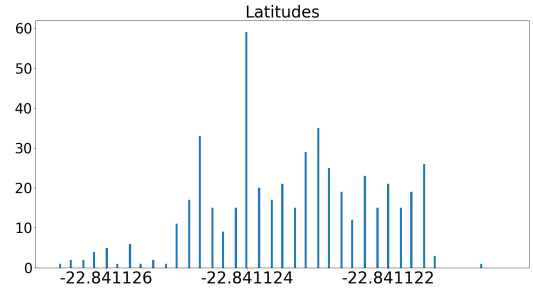

Figura 7. Latitudes coletadas em ambiente *indoor* (residência).

4. TRABALHOS RELACIONADOS

Outros estudos de sensoriamento veicular foram desenvolvidos com o intuito de tornar o uso do GPS viável para o controle de veículos. Este trabalho se inspira no trabalho de Neto et al. (2020), em que é proposto um método de mitigação de erro por meio do uso de um algoritmo externo de correção. Nesse estudo, foram utilizados cálculos envolvendo três sensores, sem correção RTK, que utilizam

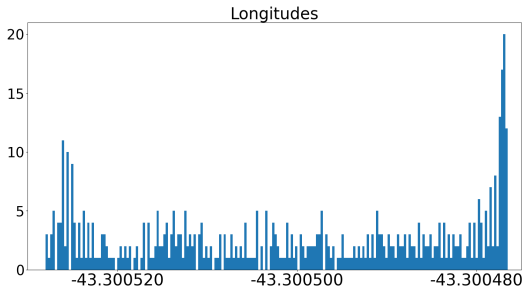

Figura 8. Longitudes coletadas em ambiente *indoor* (residência).

comunicação Veículo para Veículo (V2V) e Veículo para Infraestrutura (V2I) para determinar a posição absoluta e relativa do meio de transporte com erro abaixo de 1 metro.

Ademais, este trabalho também avança no aprimoramento da delimitação do momento de frenagem ideal presente no trabalho de Pinto Neto et al. (2016). Na pesquisa anterior, foi desenvolvido um algoritmo de antecipação do alerta de frenagem. Por meio da medida de velocidade do veículo e o valor da taxa de amostragem do sensor que a mensura, o método antecipa a ativação do sinal de parada para alcançar uma frenagem mais acurada do veículo.

Além disso, o sistema proposto dialoga com a aplicação de tecnologias de levitação magnética supercondutora, como discutido no trabalho de Messer et al. (2023). Nesse estudo, são abordadas técnicas de aquisição de dados para o MagLev-Cobra, que permitem a otimização dos sistemas de levitação e propulsão. Esse trabalho enfatiza a integração de sensores de levitação e velocidade que operam no veículo, este que utiliza tecnologia de levitação supercondutora para melhorar a eficiência e garantir a estabilidade magnética na levitação. As contribuições do trabalho de Messer et al. (2023) são fundamentais para avançar na compreensão e implementação prática de veículos maglev em ambientes urbanos.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O sistema de automação e sensoriamento desenvolvido para o MagLev-Cobra representa um marco à automação plena de veículos de levitação magnética. Os resultados preliminares obtidos por meio dos testes de bancada comprovam o potencial do sistema de controle baseado em CLP e GPS RTK para operações de aceleração e frenagem, embora ainda esteja em estudo a imprecisão do sensor em situação urbana. Os testes finais em campo ainda estão na iminência de serem realizados, estando planejados para ocorrer na primeira metade de 2024. No decorrer desse tempo, são desenvolvidos os estudos e as calibrações para futuros testes, envolvendo o sensor óptico de velocidade em conjunto com o restante do sistema.

A integração bem sucedida de um microcomputador para a execução de comandos de controle em conjunto com o inversor de frequência CFW11 e a comunicação via protocolo NTRIP com a estação ONRJ do IBGE indicam que a estrutura para a automação está se consolidando. Os resultados, apesar de advindos de testes em bancada, comprovam o potencial de implementação desse modelo de

controle nos sistemas de mobilidade urbana. O próximo passo deste trabalho trata da implantação na segunda geração do veículo MagLev-Cobra, prevista para entrada em operação no segundo semestre de 2024.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento realizado por meio de recursos da FAPERJ - Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

REFERÊNCIAS

Amado, C.A.G. (2023). Teste de interface entre raspberry pi e cfw11 (vídeo completo). URL `https://youtu.be/WWMB2cTKf_4`. Acessado em 22 de dezembro de 2023.

IBGE - Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC (2007). *RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS: Relatório de Informação de Estação ONRJ - Rio de Janeiro*. URL `https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rbmc/relatorio/Descritivo_ONRJ.pdf`. Última atualização em 17/11/2017. Esta estação pertence à Rede de Densificação do IGS.

Messer, G.K., Rodriguez Velandia, E.F., Stephan, R.M., and Gonçalves Amado, C.A. (2023). Data acquisition for a magnetic levitation vehicle. In *2023 IEEE 8th Southern Power Electronics Conference and 17th Brazilian Power Electronics Conference (SPEC/COBEP)*, 1–4. doi:10.1109/SPEC56436.2023.10408147.

Neto, J.B.P., Gomes, L.C., Ortiz, F.M., Almeida, T.T., Campista, M.E.M., Costa, L.H.M., and Mitton, N. (2020). An accurate cooperative positioning system for vehicular safety applications. *Computers and Electrical Engineering*, 83, 106591. doi:10.1016/j.compeleceng.2020.106591.

Pinto Neto, J.B., Gomes, L.C., Castanho, E.M., Campista, M.E.M., and Costa, L.H.M.K. (2016). Um algoritmo para cálculo de distância segura de frenagem para prevenção de colisão dianteira em redes veiculares. In *XXI Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS)*. Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEE/COPPE/GTA e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO.

Stephan, R.M. and Deng, Z. (2023). Past, present and future of superconducting magnetic levitation (sml). *Modern Transportation Systems and Technologies*, 9(1), 5–19. URL `https://transsyst.ru/transj/article/view/321677`.

u-blox (2023). Zed-f9p-01b. Data Sheet UBX-17051259, u-blox. URL `https://www.mouser.com/datasheet/2/1025/ZED_F9P_01B_DataSheet_UBX_17051259-3180183.pdf`. Disclosure Restriction: C1-Public.

WEG (2010). *Manual da SoftPLC CFW-11*. URL `https://static.weg.net/medias/downloadcenter/he8/hbc/WEG-cfw11-manual-da-softplc-0899.5737-manual-portugues-br.pdf`.

WEG (2016). *Manual do Usuário Software WLP*. URL `https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h7b/hd5/WEG-software-de-programacao-ladder-wlp-manual-do-usuario-10000051020-10.0x-manual-portugues-br.pdf`.

WEG (2019). *CFW-11 Manual de Programação*. URL `https://static2.weg.net/medias/downloadcenter/h2b/h91/WEG-cfw11-manual-de-programacao-0899.5654-2.0x-manual-portugues-br.pdf`. Documento: 0899.5664 / 04, Idioma: Português.