



VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

INOVAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS EMPREGADOS NAS AVALIAÇÕES E NO GERENCIAMENTO DE RODOVIAS.

**JOÃO VICTOR DA SILVA SOARES¹; ATILA MARCONCINE DE SOUZA¹;
LUCAS MANOEL DA SILVA¹**

AFILIAÇÃO

¹Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) - Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras (CCHSTL) - Rua Topázio, 100, Vila São Francisco, Açailândia - MA, 65930-000.

RESUMO

Com a maior participação na matriz de transporte brasileira, o modal rodoviário concentra aproximadamente 65% da movimentação de mercadorias e 95% da movimentação de passageiros (CNT, 2021). Nesse sentido, a manutenção da malha rodoviária é um aspecto essencial para o avanço socioeconômico do país, pois uma boa infraestrutura possibilita o transporte de cargas e pessoas em toda a extensão do território nacional (BARELLA, 2008). Para isso, o conhecimento da malha rodoviária, por meio da avaliação e análise dos defeitos a ela associados, é fundamental para uma gestão mais eficiente do sistema rodoviário. Dentre os vários métodos e tecnologias existentes para avaliação de rodovias, destaca-se o uso de perfilômetros laser e/ou inerciais, pela sua eficiência e precisão. Equipamentos capazes de realizar varreduras na superfície do pavimento para rastrear e mensurar irregularidades presentes. No entanto, essa tecnologia apresenta um alto custo de utilização, exigindo mão de obra especializada. Nesse sentido, os microcontroladores surgem como alternativas de baixo custo no desenvolvimento de tais equipamentos. Assim, esta pesquisa visa o desenvolvimento e aplicação de um perfilômetro de baixo custo, constituído de um microcontrolador Arduino associado a sensores ultrassônicos HC-SR04 e ao sensor acelerômetro ADXL345, para a avaliação de irregularidades presentes em pavimentos flexíveis. No decorrer dessa pesquisa realizou-se o desenvolvimento do *hardware* e *software* que compõem o sistema eletrônico do perfilômetro, bem como a construção do corpo estrutural que da sustentação a esse sistema. Após a etapa de construção, deu-se prosseguimento aos testes em campo para avaliação de irregularidades. O equipamento desenvolvido evidencia a viabilidade da utilização de sistemas microcontrolados na aplicação proposta, uma vez demonstrada sua capacidade em realizar tarefas de controle e processamento de dados com precisão satisfatória. Consequentemente, abrindo a possibilidade de avaliar, em futuras aplicações, as irregularidades dos pavimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Microcontroladores, Protótipos, Perfilômetro.

INTRODUÇÃO

Com a maior participação na matriz de transporte brasileira, o modal rodoviário concentra aproximadamente 65% da movimentação de mercadorias e 95% da movimentação de passageiros (CNT, 2021).

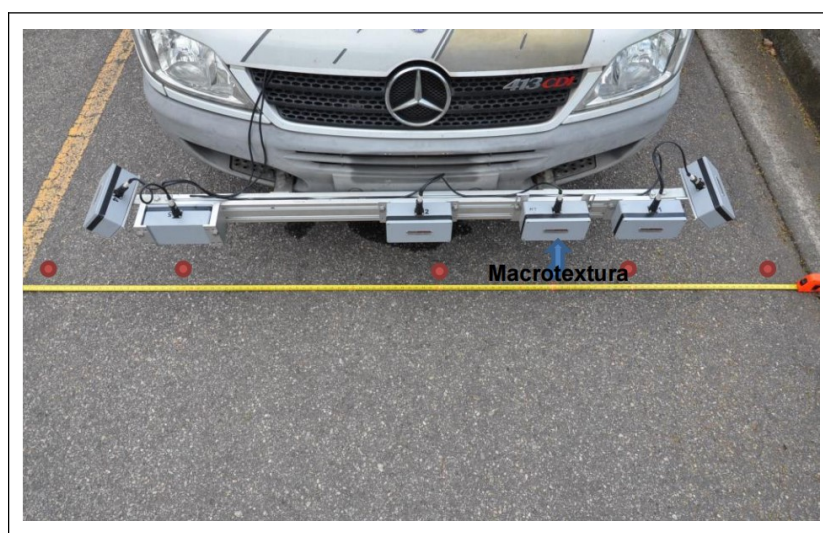
VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

Nesse sentido, a manutenção da malha rodoviária é um aspecto essencial para o avanço socioeconômico do país, pois uma boa infraestrutura possibilita o transporte de cargas e pessoas em toda a extensão do território nacional (BARELLA, 2008). Para isso, o conhecimento da malha rodoviária, por meio da avaliação e análise dos defeitos associados a ela, é fundamental para uma gestão mais eficiente do sistema rodoviário.

Dois dos principais critérios para avaliar o desempenho de pavimentos são o Afundamento da Trilha de Roda (ATR) e as irregularidades longitudinais. No Brasil, a avaliação desses defeitos segue a norma DNIT 006/2003–PRO. O ATR mede a profundidade dos sulcos deixados por veículos nas estradas, enquanto as irregularidades longitudinais se referem aos desvios indesejados na superfície do pavimento que prejudicam a condução dos veículos, geram insegurança e aumentam os custos de manutenção.

Atualmente, há uma diversidade de tecnologias e métodos disponíveis para medir essas irregularidades associadas ao pavimento, e uma das mais avançadas e eficientes é o uso de Perfilômetros Inerciais, também conhecidos como Perfilômetros Laser. O perfilômetro laser obtém medidas contínuas, em velocidade de tráfego, dos perfis longitudinais e transversais, incluindo a irregularidade em tempo real do pavimento (DYNATEST, 2020).

Figura 1 – Perfilômetro inercial.



Fonte: DNIT 442 (2023).

No entanto, esses equipamentos são complexos e requerem operadores qualificados, o que torna sua operação dispendiosa. Portanto, sistemas computacionais embarcados, também conhecidos como microcontroladores, surgem como importantes aliados no desenvolvimento de soluções que combinem avanço tecnológico e baixo custo, contribuindo

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA
para a otimização do aproveitamento dos recursos disponíveis pelo setor público e privado.

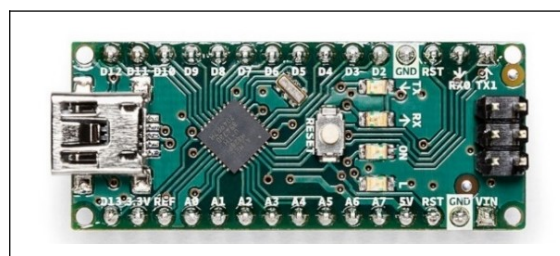
Dentro desse cenário, os microcontroladores têm revelado seu potencial em várias aplicações na engenharia, pois apresentam dimensões reduzidas, baixo custo e consumo de energia reduzido. Segundo Martins, (2005) basicamente, “um microcontrolador incorpora no mesmo encapsulamento o microprocessador, a memória de programa e a memória de dados”.

Partindo desse panorama, o presente trabalho tem por objetivo central analisar o desenvolvimento e a possibilidade de aplicação de um perfilômetro de baixo custo, composto por um microcontrolador Arduino Nano associado a sensores ultrassônicos HC-SR04 e ao sensor acelerômetro ADXL345, para a avaliação de irregularidades presentes em pavimentos flexíveis.

METODOLOGIA

Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto que se baseia em *hardware* e *software* de fácil utilização, (ARDUINO, 2023). A placa utilizada segue na Figura 2. Importante ressaltar que a escolha da placa Arduino se deu devido às vantagens que oferece em comparação a outros microcontroladores.

Figura 2 – Arduino Nano.

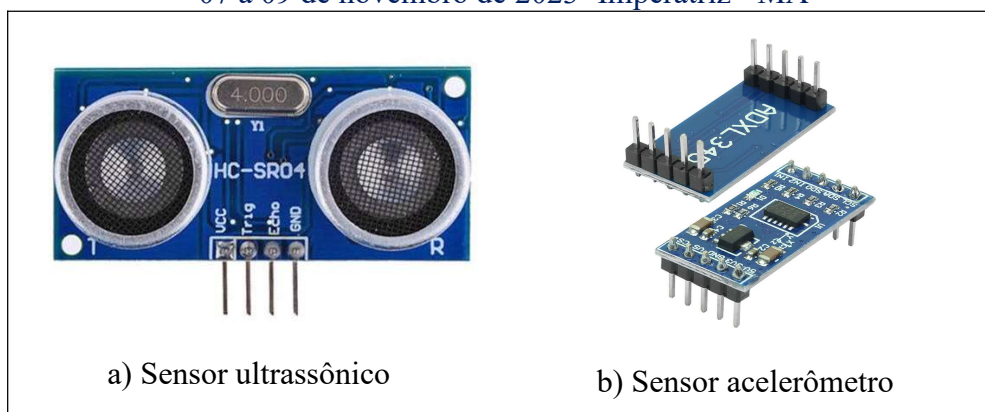


Fonte: ARDUINO (2023).

O sensor ultrassônico HC-SR04 (Figura 3 a)) é utilizado para medir distâncias entre o dispositivo e um objeto, este sensor emite um sinal ultrassônico que reflete em um objeto e retorna ao sensor, permitindo deduzir a distância do objeto ao sensor tomando o tempo da trajetória do sinal. O sensor acelerômetro utilizado, foi o ADXL456, segundo Campos (2013), são sensores que medem aceleração. O funcionamento desse sensor consiste em fazer a leitura da oscilação da massa provocada pela inércia todas as vezes que o corpo entra em movimento.

Figura 3 – Sensores utilizados.

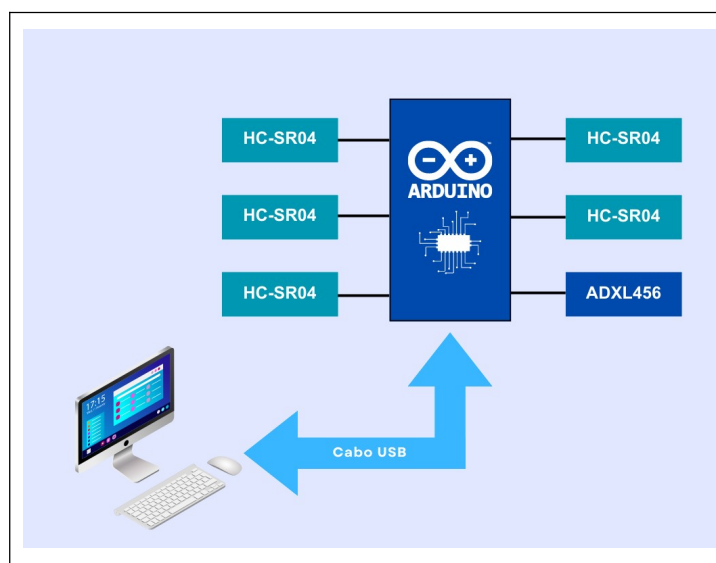
VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA



Fonte: ARDUINO (2023).

Seguidamente, prosseguiu-se a etapa de desenvolvimento do algoritmo e do circuito eletrônico do perfilômetro, responsáveis por realizar a leitura e processamento dos dados emitidos pelos sensores. A Figura 4 apresenta um fluxograma das conexões eletrônicas.

Figura 4 – Fluxograma simplificado.

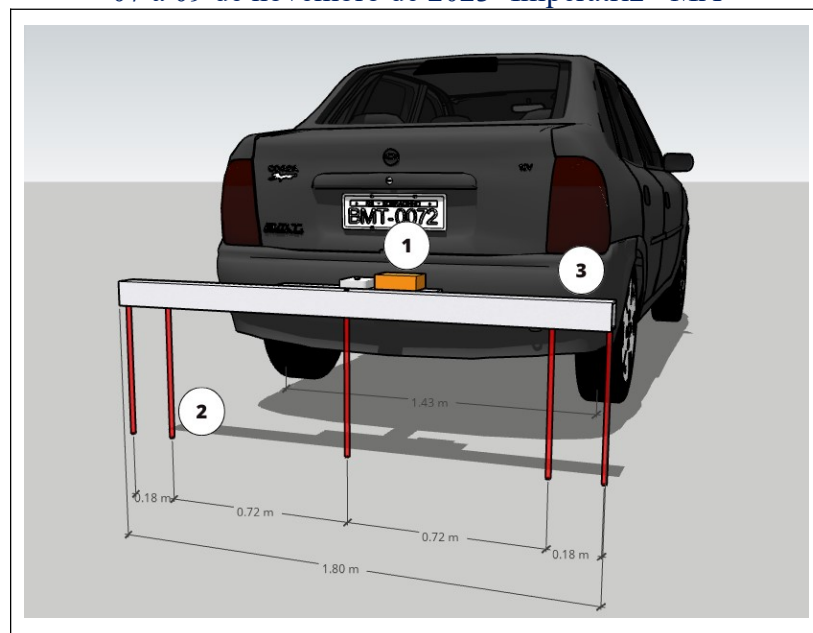


Fonte: Autores (2023).

Posteriormente, prosseguiu-se com o modelo em 3D do perfilômetro laser utilizando o software SketchUp, com a finalidade de realizar testes e simulações virtuais em 3D do equipamento antes de construí-lo fisicamente, para visualizar de forma mais precisa e detalhada suas características e dimensões. Uma vez que, o comprimento do suporte de sustentação precisar ultrapassar em alguns centímetros o comprimento do eixo traseiro do veículo, para a mensuração do ATR. Uma vez feita a coleta dos dados, deu-se continuidade à elaboração do modelo tridimensional utilizando o *software* SketchUp (Figura 5).

Figura 5 – Modelo 3D do perfilômetro no software SketchUp.

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA



Fonte: Autores (2023).

Cada número indica, em sua ordem:

- 1 → Invólucro contendo o sistema eletrônico
- 2 → Representação do feixe do sensor HC-SR04
- 3 → Suporte constituído por perfis de aço para sustentação do sistema eletrônico

Com o propósito de concretizar a construção do perfilômetro laser, procedeu-se o desenvolvimento do corpo estrutural do perfilômetro laser. Com a união de dois perfis de aço mediante soldagem. Para realizar o teste em campo, foi selecionado um trecho localizado na A.V. Alexandre Costa, na cidade de Açailândia-MA. No dia 27 de julho de 2023, às 17:00 horas, procedeu-se ao levantamento dos dados, enquanto o veículo mantinha uma velocidade média de 40 km/h.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A respeito do equipamento desenvolvido, apresentado na Figura 6, verificou-se que o mesmo demonstrou eficácia ao processar as distâncias medidas pelos sensores ultrassônicos e a aceleração vertical registrada pelo acelerômetro. Por outro lado, constatou-se problemas com dois sensores ultrassônicos que forneceram dados imprecisos e aleatórios. Isso impediu a análise adequada dos resultados e a avaliação do afundamento da trilha de roda interna. A possível causa desse problema pode ser atribuída a falhas nos sensores, como conexões defeituosas ou defeitos de fabricação.

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA
Figura 6 – Perfilômetro Inercial.



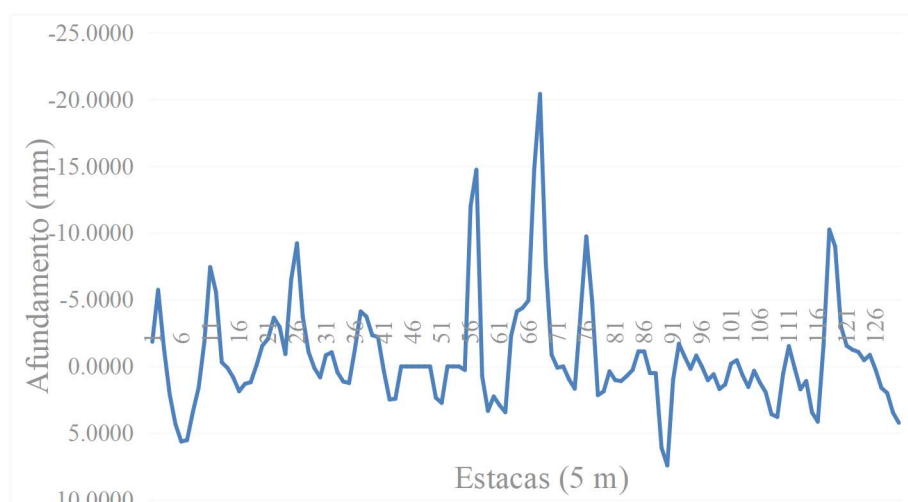
Fonte: Autores (2023).

Cada número indica, em sua ordem:

- 1 → Microcontrolador fixado na *protoboard* conectado aos *jumpers*
- 2 → Cabo USB conectando o microcontrolador ao computador
- 3 → Perfil Stanley
- 4 → Sensor ultrassônico HC-SR04
- 5 → Sensor acelerômetro ADXL456

No que diz respeito a análise dos dados dos sensores ultrassônicos, observa-se que o afundamento máximo encontrado é de 8 mm, e que a elevação máxima encontrada é de 20 mm, como pode ser observado na Figura 8. O fato da elevação possuir um magnitude maior, se deve a existência de muitos remendos no trecho avaliado. O que acaba causando desconforto aos usuários da via.

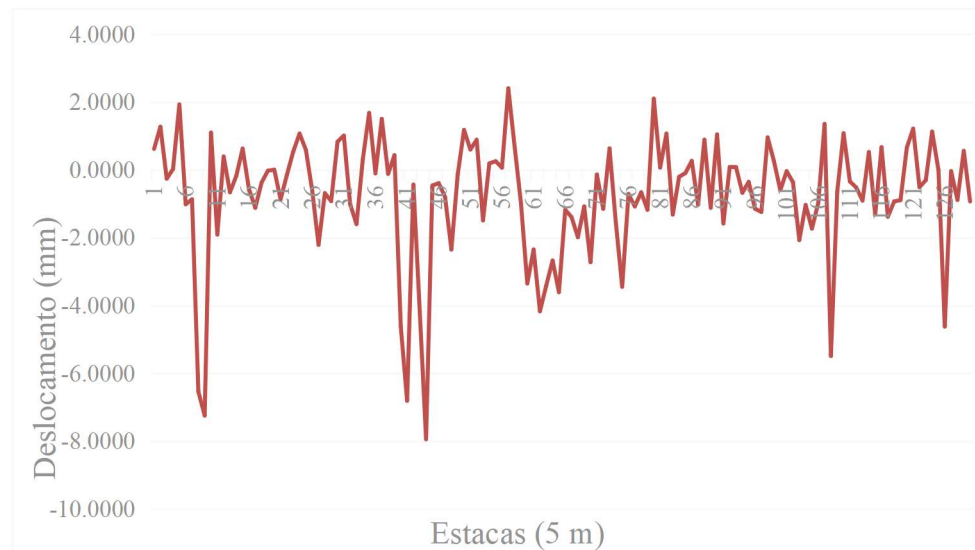
Figura 8 – Afundamento da trilha de roda externa



VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA
Fonte: Autores (2023).

A respeito do sensor acelerômetro, foi possível obter através dos dados o perfil longitudinal do trecho em questão, através da estimativa da trajetória vertical percorrida por um veículo. Como pode ser visto na Figura 15, o trecho analisado apresenta bastante desvios e movimentação vertical, esses desvios afetam a dinâmica dos veículos, a qualidade do rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via. Para Perera et al. (2008), o perfil longitudinal correspondente às trilhas de roda de um pavimento pode ser utilizado para avaliar a irregularidade longitudinal do pavimento. As alterações no referido perfil ao longo do tempo é um indicador importante do desempenho do pavimento, pois está diretamente relacionado à evolução das irregularidades longitudinais.

Figura 15 – Perfil longitudinal



Fonte: Autores (2023).

CONCLUSÕES

Com o *software* e *hardware* corretos, o Arduino pode interagir com praticamente qualquer tipo de sensor, uma vez respeitados seus limites de processamento e memória. A placa Nano se destaca por sua compacidade e simplicidade de conexões, tornando-a adequada para avaliações futuras do Afundamento da Trilha de Roda (ATR). Além disso, a natureza de código aberto do Arduino reduz custos com licenças e promove a difusão de conhecimento.

Para trabalhos futuros, almeja-se explorar a utilização e comparação de outros tipos de sensores de distância, visando obter dados mais precisos das distâncias medidas.

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

Adicionalmente, há a intenção de empregar filtros digitais para reduzir a dispersão nos dados captados pelos sensores.

Um perfilômetro inercial, tem custo que pode chegar a quase R\$ 400.000,00. Enquanto o perfilômetro desenvolvido nessa pesquisa, teve um custo de produção em torno de 400,00 R\$.

Por fim, há que se falar, que a possibilidade de se obter, de modo econômico, informações sobre os defeitos na superfície dos pavimentos, através do perfilômetro inercial, pode facilitar a execução do monitoramento por parte dos gestores de pavimentos rodoviários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO. Arduino. Disponível em: <store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3> Acesso em Abr. 2023.

BARELLA, Rodrigo Maluf. **Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais**. 2008. 362 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CAMPOS, S. M - **Solução Eletrônica Para Navegação Veicular**. – Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Teleinformática. 59f. Universidade Federal do Ceará. 2013.

CNT. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do brasil não duram?** Brasília: CNT, 2021. 160p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA EM TRANSPORTES. **Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos - Procedimento**. DNIT 006/2003 – PRO. Ministério dos Transportes, Rio de Janeiro, 2003.

_____. DNIT – PRO 442/2023 – Pavimentação – Levantamento do perfil longitudinal de pavimentos com perfilômetro inercial.

MARTINS, Nardênio Almeida. **Sistemas Microcontrolados**, Uma Abordagem com o Microcontrolador PIC 16F84, pg. 14-20, 2005. Disponível em: . Acesso em Nov. 2022.

PERERA, Rohan W.; KOHN, Starr D.; RADA, Gonzalo R. **LTPP manual for profile measurements and processing**. 2008.