



UNIVERSIDADE DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CAMPUS AÇAILÂNDIA
CENTRO DE CIÊNCIA HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

JOÃO VICTOR DA SILVA SOARES

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROTÓTIPOS DE BAIXO CUSTO
UTILIZANDO PLACAS MICROCONTROLADORAS ARDUINO NO
DESENVOLVIMENTO DE UM PERFILÔMETRO LASER**

Açailândia-MA

2023

JOÃO VICTOR DA SILVA SOARES

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROTÓTIPOS DE BAIXO CUSTO
UTILIZANDO PLACAS MICROCONTROLADORAS ARDUINO NO
DESENVOLVIMENTO DE UM PERFILÔMETRO LASER**

Artigo apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, *campus* Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador(a): Lucas Manoel da Silva

Açailândia-MA

2023

S676a

Soares, João Victor da Silva

Análise comparativa entre protótipos de baixo custo utilizando placas microcontroladoras arduino no desenvolvimento de um perfilômetro laser - / João Victor da Silva Soares. – Açailândia: UEMASUL, 2023.

28 f. : il.

Artigo (Curso de Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2023.

Orientador: Prof. Me. Lucas Manoel da Silva

1. Microcontroladores. 2. Protótipos. 3. Perfilômetro laser. I. Título.

CDU 625


JOÃO VICTOR DA SILVA SOARES

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROTÓTIPOS DE BAIXO CUSTO
UTILIZANDO PLACAS MICROCONTROLADORAS ARDUINO NO
DESENVOLVIMENTO DE UM PERFILÔMETRO LASER**


Artigo apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, *campus* Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Aprovado em 29 / 06 / 2023


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 LUCAS MANOEL DA SILVA
Data: 08/07/2023 19:00:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Lucas Manoel da Silva
Mestrado em Engenharia de Barragens e Meio Ambiente
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 JESSICA ALMEIDA DOS SANTOS
Data: 08/07/2023 15:07:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Jéssica Almeida dos Santos
Mestrado em Engenharia Elétrica
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 GEAN CARLOS LOPES DE SOUSA
Data: 08/07/2023 14:25:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gean Carlos Lopes de Sousa
Doutorado em Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Maranhão

Análise comparativa entre protótipos de baixo custo utilizando placas microcontroladoras arduino no desenvolvimento de um perfilômetro laser

Comparative analysis between low-cost prototypes using Arduino microcontroller boards in the development of a laser profilometer

João Victor da Silva Soares¹; Lucas Manoel da Silva².

¹ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnologia e Letras (CCHSTL), Açailândia/MA, Brasil. Email: joaosoares.20180040126@uemasul.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9299-2964>

² Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnologia e Letras (CCHSTL), Açailândia/MA, Brasil. Email: lucas.silva@uemasul.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6119-0114>

Resumo: 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. Dentre os vários métodos e tecnologias existentes para avaliação de rodovias, destacam-se o uso de perfilômetros laser, pela sua eficiência e precisão. Tais equipamentos realizam varreduras na superfície do pavimento para rastrear e mensurar irregularidades presentes. Apesar disso, esses equipamentos apresentam complexidade na sua utilização, exigindo mão de obra especializada. Nesse sentido, os microcontroladores surgem como alternativas de baixo custo no desenvolvimento de tais equipamentos. Assim o objetivo desse trabalho é a análise comparativa entre dois protótipos com placas microcontroladoras Arduino associadas a sensores laser VL53L0X, para aplicação no desenvolvimento de um perfilômetro laser. No decorrer desta pesquisa foram realizados testes de *hardware* e *software*, testes de variabilidade nos dados dos sensores, bem como a construção do corpo estrutural de sustentação do sistema eletrônico. Os resultados obtidos evidenciam 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 transversais dos pavimentos.

Palavras-chave: Microcontroladores, Protótipos, Perfilômetro Laser.

Abstract: Knowledge of the road network, through the evaluation and analysis of associated defects, is crucial for a more efficient management of the highway system. Among the various methods and technologies available for road assessment, the use of laser profilers stands out due to their efficiency and precision. These equipment perform scans on the pavement surface to track and measure existing irregularities. However, these devices can be complex to use, requiring specialized labor. In this regard, microcontrollers emerge as low-cost alternatives in the development of such equipment. Therefore, the objective of this study is the comparative analysis between two prototypes with Arduino microcontroller boards associated with VL53L0X laser sensors for the development of a laser profiler. Throughout this research, hardware and software tests were conducted, variability tests on sensor data were performed, as well as the construction of the structural body to support the electronic system. The obtained results demonstrate the viability of using microcontrolled systems in the proposed application, as their capability to perform control tasks and data processing with satisfactory precision has been demonstrated. Consequently, this opens the possibility of evaluating the transverse irregularities of pavements in future applications.

Keywords: Microcontrollers, Prototype, Laser Profilometers.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. METODOLOGIA	8
2.1 Materiais.....	8
2.2 Desenvolvimento do <i>software</i>	14
2.3 Circuito eletrônico e <i>upload</i> do algoritmo.....	15
2.4 Teste de repetibilidade dos sensores	18
2.5 Desenvolvimento do projeto em 3d do perfilômetro laser	18
2.6 Construção do suporte de sustentação do perfilômetro laser	19
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
3.1 Resultado dos experimentos	20
3.1.1 Execução do <i>software</i> e <i>hardware</i>	20
3.1.2 Acerca do teste de repetibilidade dos sensores.....	23
3.1.3 Perfilômetro laser desenvolvido nesta pesquisa	24
3.2 Análises	24
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS.....	28

1. 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).

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.

Um dos principais indicadores para se analisar o desempenho dos pavimentos são as deformações, sendo o Afundamento da Trilha de Roda (ATR) uma das principais. A avaliação de tais defeitos são normatizadas no país através da norma DNIT 006/2003-PRO (2003). O afundamento da trilha de roda é a medida que indica a profundidade do sulco deixado por um veículo em uma estrada ou superfície de rodagem. O ATR pode ser medido comparando a diferença entre a distância média dos sensores dentro e fora da zona de afundamento.

No momento, há uma diversidade de tecnologias e métodos disponíveis para medir essas deformações 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). A Figura 1 expõe a representação frontal do perfilômetro laser e do afundamento anteriormente referido.

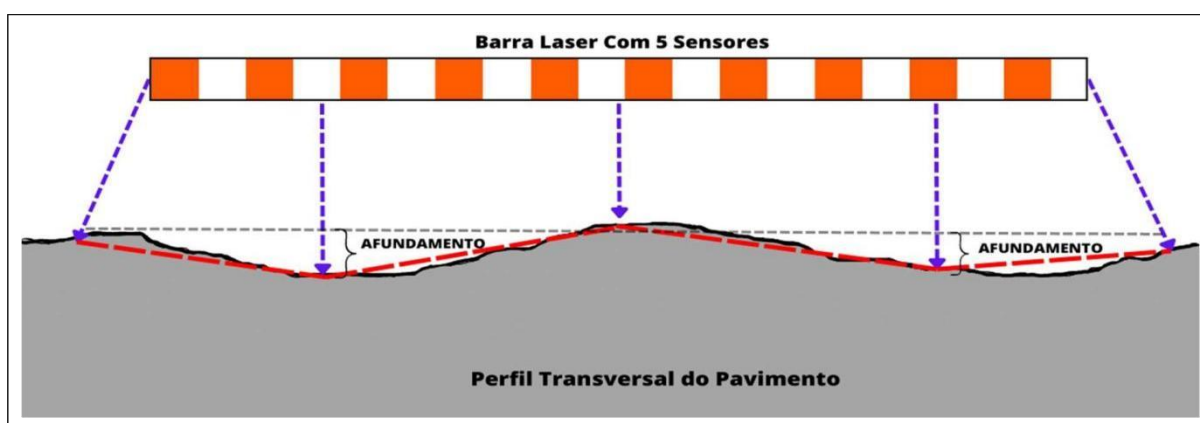


Figura 1 – Representação frontal do perfilômetro laser.

Fonte: Autores (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 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”.

Atualmente, a diversidade de placas microcontroladoras disponíveis no mercado oferece opções variadas aos projetistas. No entanto, escolher o microcontrolador mais adequado tornou-se um desafio devido à ampla oferta. Para lidar com isso, surge a necessidade de criar modelos e protótipos que simulam o projeto final. A prototipagem fornece informações cruciais aos projetistas, permitindo a exploração ágil e econômica de ideias preliminares. Além disso, ela possibilita a visualização, avaliação e aprimoramento do projeto antes de sua implementação definitiva, por meio de testes e refinamento das especificações (PALHAIS, 2015).

Partindo desse panorama, o presente trabalho tem por objetivo central analisar a construção entre dois protótipos com placas microcontroladoras Arduino e o desenvolvimento e confecção de um perfilômetro laser.

2. METODOLOGIA

Para a condução metodológica deste trabalho foram realizadas simulações de *software* e *hardware* utilizando as placas Arduino UNO e Arduino NANO. Para validar os protótipos desenvolvidos, as placas foram conectadas aos sensores laser VL53L0X, para a realização de medições de distância.

Além disso, foram realizados testes individuais com os sensores para quantificar a variabilidade das medições realizadas por cada um deles. Posteriormente, prosseguiu-se com o projeto em 3D do perfilômetro laser utilizando o software SketchUp e seguidamente procedeu-se à construção do suporte de sustentação do sistema eletrônico.

2.1 MATERIAIS

Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto que se baseia em *hardware* e *software* de fácil utilização, (ARDUINO, 2023). Ambas as placas utilizadas seguem na Figura 2. Importante ressaltar que a escolha das placas Arduino se deu devido às vantagens que oferecem em comparação a outros microcontroladores. Elas se destacam pela facilidade de uso, contando com uma interface didática e simples, além de saídas lógicas facilmente acessíveis. Adicionalmente, as placas Arduino possuem uma ampla gama de módulos de comunicação disponíveis, o que contribui para sua versatilidade.

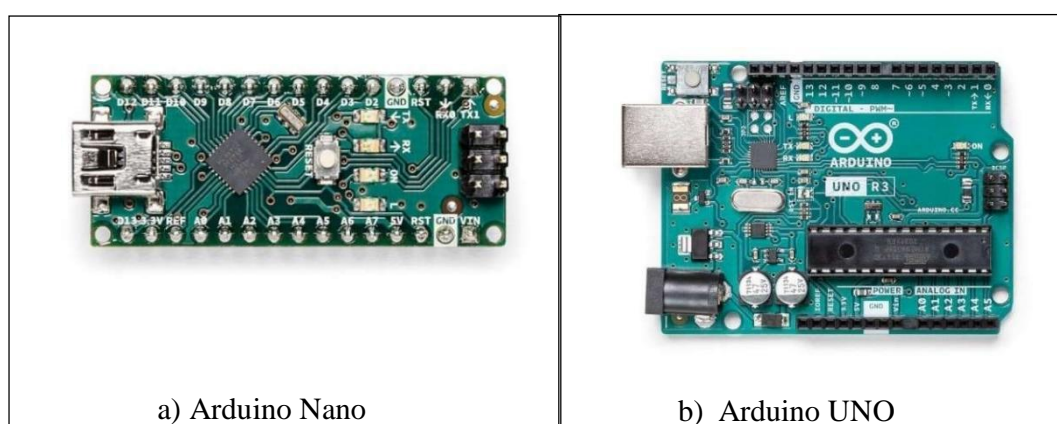


Figura 2 – Placas utilizadas.

Fonte: ARDUINO (2023).

A Tabela 1 apresenta o comparativo entre as principais especificações de cada plataforma, baseadas nos dados do fabricante.

Tabela 1 – Especificações.

Especificações Técnicas	Arduino Nano	Arduino UNO
Microcontrolador	ATmega328P	ATmega328P
Tensão operacional	5 V	5 V
Memória flash	32 KB	32 KB
SRAM	2 KB	2 KB
Frequência (Velocidade de clock)	16 MHz	16 MHz
Pinos analógicos	8	6
Pinos digitais	14	14
EEPROM	1 KB	1 KB
Corrente CC nos pinos de E/S	40 mA	20 mA
Tensão de entrada	7-12 V	7-12 V

Massa	7 g	25 g
Dimensões (mm)	45 x 16	68 x 53

Fonte: Adaptado de ARDUINO (2023).

O Sensor Laser VL53L0X (Figura 3) é utilizado para medir distâncias entre o dispositivo e um objeto, podendo medir até 2 metros de distância com tempo de resposta de aproximadamente 33 milissegundos (STMICROELETRONICS, 2022).

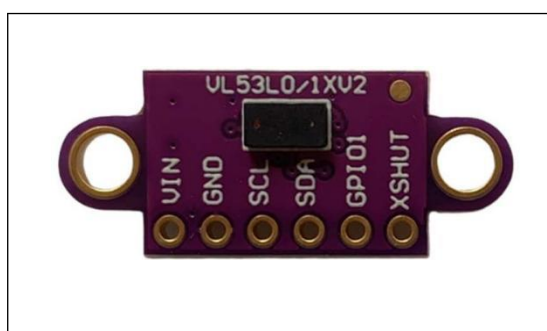


Figura 3 – Sensor Laser VL53L0X.

Fonte: Autores (2023).

A Tabela 2 apresenta as propriedades do sensor VL53L0X relacionadas ao alcance máximo, enquanto a Tabela 3 mostra a acurácia de medição. É importante salientar que as condições de especificação foram realizadas com o módulo exposto, sem película de vidro, em temperatura ambiente de 23 °C e com tensão nominal de 2,8 V, (STMICROELETRONICS, 2022).

Tabela 2 – Máxima capacidade de alcance com tempo de coleta 33ms.

Alcance	Nível de Reflectância (Todo campo de visada)	Condições	Interior	Nublado ao ar livre
Alcance Branco (88%)		Típica	200cm+	80cm
		Mínimo	120cm	60cm
Alcance Cinza (17%)		Típica	80cm	50cm
		Mínimo	70cm	40cm

Fonte: STMICROELETRONICS (2022).

Tabela 3 – Acurácia de medição.

Alcance Nível de Reflectância (Todo campo de visada)	Interior (Sem Infravermelho)			Exterior		
	Distância	33ms	66ms	Distância	33ms	66ms
Alcance Branco (88%)	Até 120cm	4%	3%	Até 60cm	7%	6%
Alcance Cinza (17%)	Até 70cm	7%	6%	Até 40cm	12%	9%

Fonte: STMICROELETRONICS (2022).

A fim de realizar os experimentos, foi preciso empregar um *kit* de eletrônica (Figura 4) para a criação do circuito eletrônico. Entre os componentes eletrônicos contidos no *kit*, merecem destaque a *protoboard* e o conjunto de *jumpers*, os quais foram empregados para fixar os sensores e realizar as conexões com as placas.

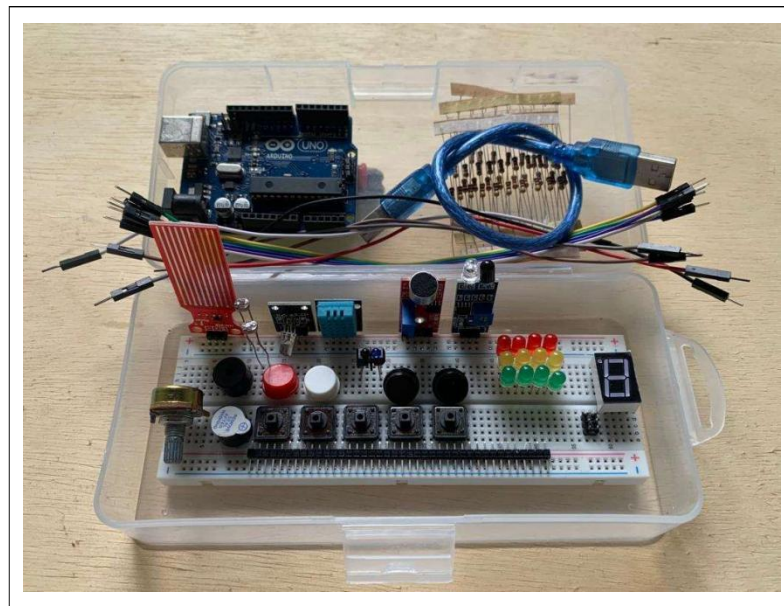


Figura 4 – Kit básico de eletrônica.

Fonte: Autores (2023).

A placa Arduino é programada por meio da linguagem de programação Arduino, a qual é baseada em uma linguagem de alto nível semelhante a C/C++. O *software* Arduino, também chamado de IDE (*Integrated Development Environment*, Ambiente de Desenvolvimento Integrado), tem a sua interface ilustrada na Figura 5. Baig Et al., (2014) assim como SOH Et al.,

(2017) declaram que o Arduino IDE é um *software* para desenvolver e compilar programas para o Arduino.

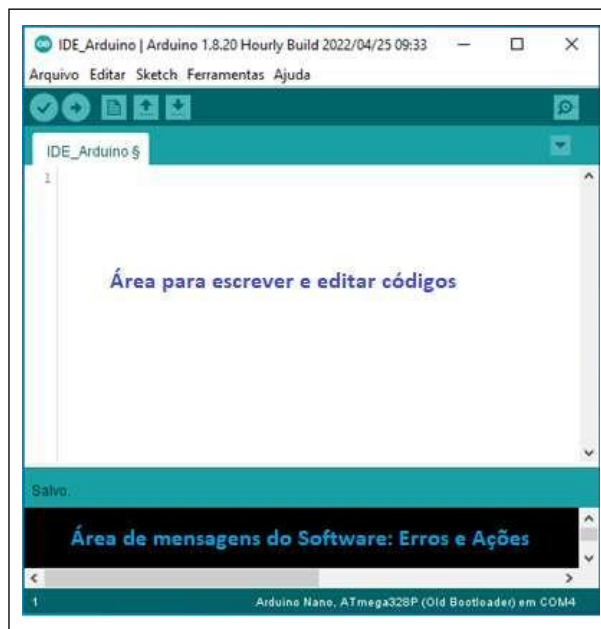


Figura 5 – Interface da IDE Arduino.

Fonte: Autores (2023).

É importante ressaltar que a IDE Arduino dispõe da ferramenta denominada *Serial Monitor* (Monitor Serial), a qual permite a saída e aquisição de dados provenientes dos sensores. Essa ferramenta possibilita monitorar, por meio da tela do computador, o estado de um periférico (sensor) conectado.

Para a execução do teste de repetibilidade, contou-se com o auxílio de um suporte para fixação dos sensores (Figura 6) obtidos no laboratório multidisciplinar da UEMASUL *campus* Açailândia. Esse suporte é constituído por um tripé Universal Delta, além de barras metálicas rosqueadas e fixadores.



Figura 6 – Suporte para o teste de repetibilidade.

Fonte: Autores (2023).

No decorrer do trabalho houve a necessidade 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. Para tanto, utilizou-se o *software* livre SketchUp para a criação do modelo em 3D do perfilômetro laser.

A fim de construir o corpo estrutural do perfilômetro laser, fez-se necessária a utilização de dois perfis de aço para fornecer suporte e sustentação ao sistema eletrônico integrado ao veículo. O primeiro perfil, é denominado Stanley. Já o segundo perfil, é denominado Tubo Retangular (FQ/FF/ZC). Ambos os perfis seguem representados na Figura 7 com suas respectivas dimensões. O material constituinte dos perfis é o aço carbono. Em relação às propriedades mecânicas desse material, Sousa (1982) destaca que seu módulo de elasticidade característico é de 210 GPa ou 210 kN/mm². Essa propriedade quantifica a medida da rigidez de um material elástico, ou seja, sua capacidade de resistir à deformação quando sujeito a uma força externa ou tensão.

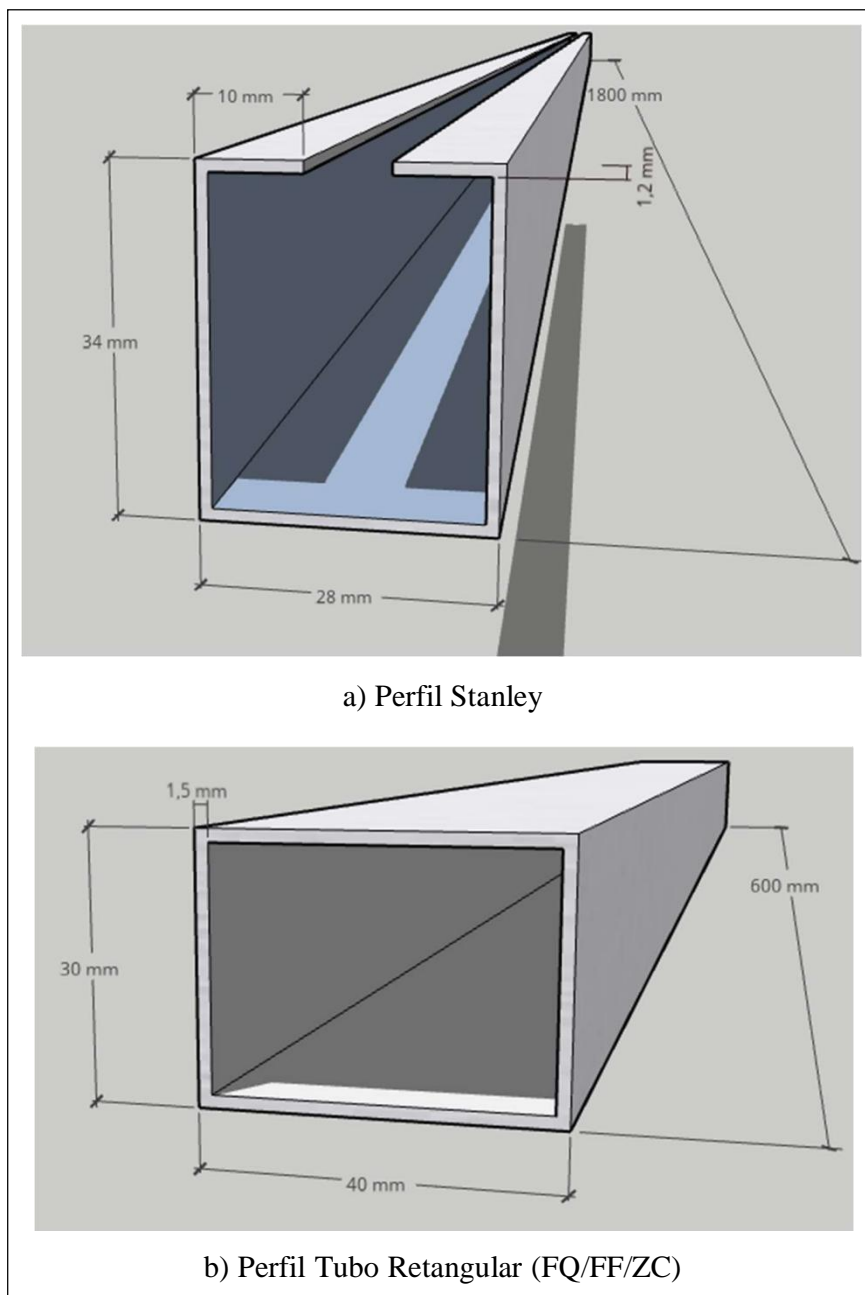


Figura 7 – Representação 3D no software SketchUp dos perfis utilizados.

Fonte: Autores (2023).

2.2 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

Após obter todos os materiais requeridos, deu-se início à etapa de desenvolvimento do algoritmo que foi embarcado nos microcontroladores, utilizando a IDE Arduino, para realizar a

Modelo de artigo adaptado de Revista de Geociências do Nordeste (*Northeast Geosciences Journal*), v. 7, nº 1 (2021).
<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n01ID>. REGNE ISSN: 2447-3359.

leitura e processamento dos dados emitidos pelos sensores. Para o funcionamento do algoritmo, foi preciso instalar a Biblioteca VL53L0X, no menu Gerenciar bibliotecas dentro da própria IDE.

Após a conclusão da instalação da biblioteca, prosseguiu-se com a programação do código. O algoritmo em questão é composto por um conjunto de instruções lógicas responsáveis por realizar a leitura dos dados de cada sensor individualmente e exibi-los no Monitor Serial da IDE. Importante ressaltar que o código utilizado foi criado a partir de exemplos pré-existentes na própria biblioteca VL53L0X. Os algoritmos em C++, implementados para 1, 3 e 5 sensores, estão disponíveis para *download* em <https://drive.google.com/drive/folders/1ne4ZBnJi7OBmsYLnwzXQp-Q2VJR3RGH?usp=sharing>.

2.3 Circuito eletrônico e *upload* do algoritmo

Conforme ilustrado na Figura 8 a seguir, procedeu-se à conexão inicial da placa Arduino ao computador através da porta USB. Essa conexão estabelecerá a transmissão e recepção de dados entre a IDE e os sensores que estão conectados à placa. Em seguida, os sensores laser VL53L0X foram conectados à placa em três diferentes combinações.

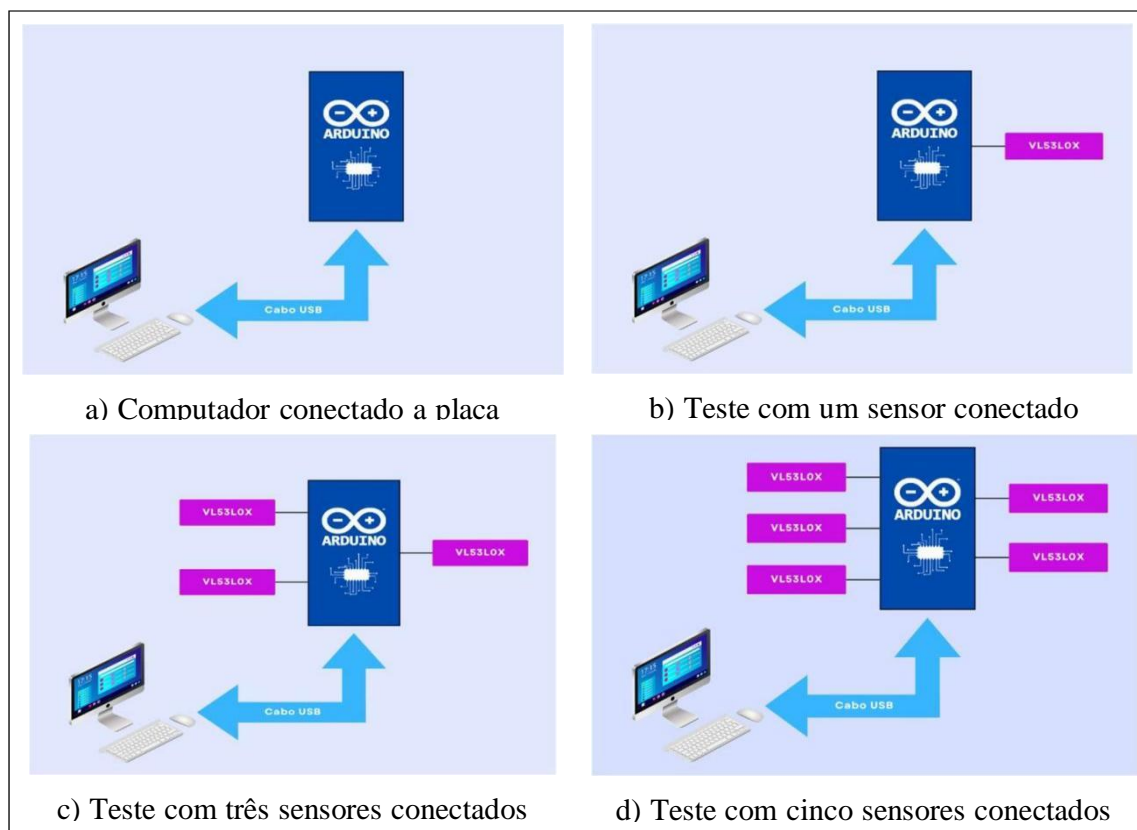


Figura 8 – Fluxograma simplificado.

Fonte: Autores (2023).

Importante destacar que a utilização de até 5 sensores nos experimentos deve-se ao fato de que esse tipo de equipamento, o perfilômetro laser, requerer no mínimo 5 sensores em sua composição para o cálculo do ATR.

Em seguida, deu-se continuidade à elaboração do diagrama eletrônico conforme mostrado na Figura 9, a fim de estabelecer as conexões entre os sensores e a placa microcontroladora. Partiu-se para sistema mais complexo com 5 sensores, uma vez que, o mesmo é a generalização dos sistemas com 1 e 3 sensores, considerando que as conexões seguem a mesma lógica de pinagem.

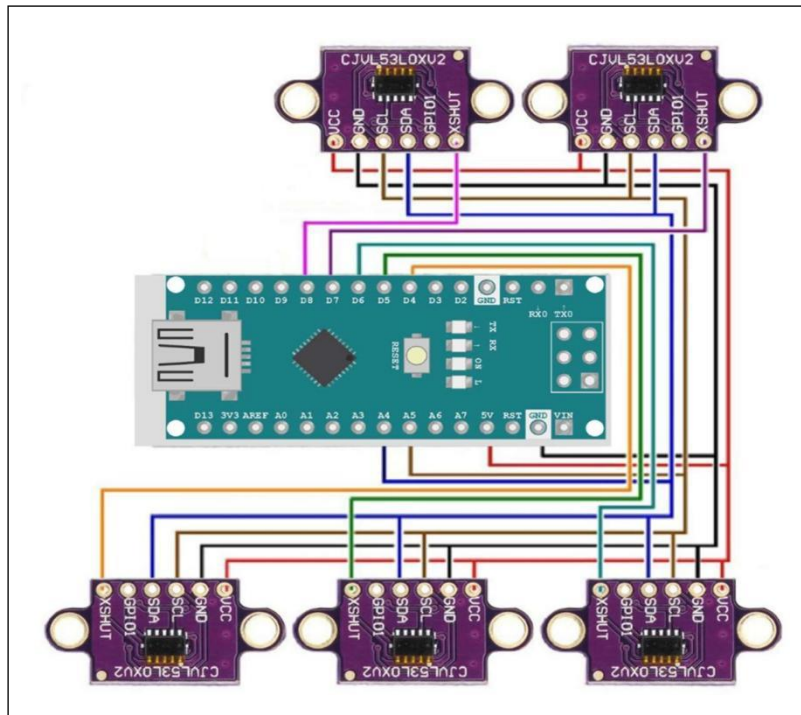


Figura 9 – Diagrama eletrônico para 5 sensores.

Fonte: Autores (2023).

Para o correto funcionamento do circuito, é necessário estabelecer as conexões adequadas. Inicialmente, são conectados *jumpers* de alimentação positivo e negativo (fio vermelho e preto, respectivamente) aos pinos VCC e GND dos sensores. Em seguida, conectou-se as portas de entrada de dados das placas (fio marrom e azul) às portas de saída de dados dos sensores (SDA e SCL). Por fim, os pinos digitais (D4 à D8) das placas são conectados ao pino XSHUT de cada sensor, visando ativar os sensores um por vez, considerando que seu funcionamento ocorre de forma serial (em série).

Para uma maior clareza na compreensão das conexões entre a placa e os sensores, foi elaborado o Quadro 1. Observa-se que a maioria das conexões é estabelecida através dos mesmos pinos nas placas e nos sensores, com exceção dos pinos digitais (D4 à D8) da placa, os quais são conectados aos pinos XSHUT dos sensores.

Quadro 1 – Conexão dos pinos entre a placa e o sensor.

Arduino	Sensor VL53L0X
5V	VCC

GND	GND
A5	SCL
A4	SDA
D4 á D8	XSHUT

Fonte: Autores (2023).

2.4 Teste de repetibilidade dos sensores

Realizaram-se medições individuais com os sensores para avaliar a consistência, precisão e dispersão dos resultados obtidos. Para cada sensor, fizeram-se o total de 100 medições de distância, as quais foram executadas com os sensores fixados no suporte previamente mencionado. Os dados das medições foram coletados do monitor serial presente na IDE do Arduino e inseridos no *software* Microsoft Excel para criação de gráficos e tabelas.

2.5 Desenvolvimento do projeto em 3d do perfilômetro laser

A fim de realizar a construção do modelo em 3D, foi necessário obter as dimensões precisas do veículo utilizado. Isso se deve ao fato do comprimento do suporte de sustentação precisar ultrapassar em alguns centímetros o comprimento do eixo traseiro do veículo, uma vez que, para a mensuração do ATR é preciso que os sensores obtenham medidas fora e dentro do trilho de rodagem dos veículos. Assim, procedeu-se com a obtenção dos dados referentes às dimensões do veículo por meio do *site* da montadora. Uma vez feita a coleta dos dados, deu-se continuidade à elaboração do modelo tridimensional utilizando o *software* SketchUp (Figura 10).

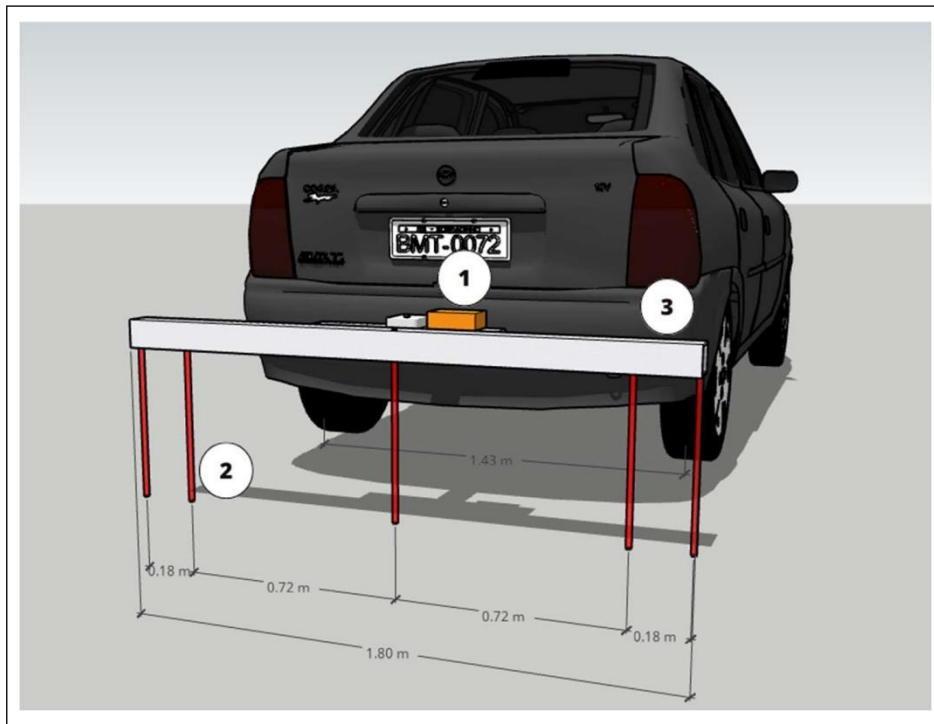


Figura 10 – Modelo 3D do perfilômetro laser no software SketchUp.

Fonte: Autores (2023).

Cada número indica, em sua ordem:

- 1 → Involucro contendo o sistema eletrônico
- 2 → Representação do feixe laser do sensor VL53L0X
- 3 → Suporte constituído por perfis de aço para sustentação do sistema eletrônico

2.6 Construção do suporte de sustentação do perfilômetro laser

Com o propósito de concretizar a construção do perfilômetro laser, procedeu-se o desenvolvimento da estrutura de sustentação do sistema eletrônico.

Para tanto, houve união dos perfis de aço mencionados anteriormente mediante soldagem (Figura 11). O perfil Stanley desempenhou o papel de suporte aos sensores, garantindo seu alinhamento horizontal e vertical em relação ao pavimento. Já o perfil de Tubo retangular foi empregado para fixar o suporte com os sensores ao engate de reboque do veículo.

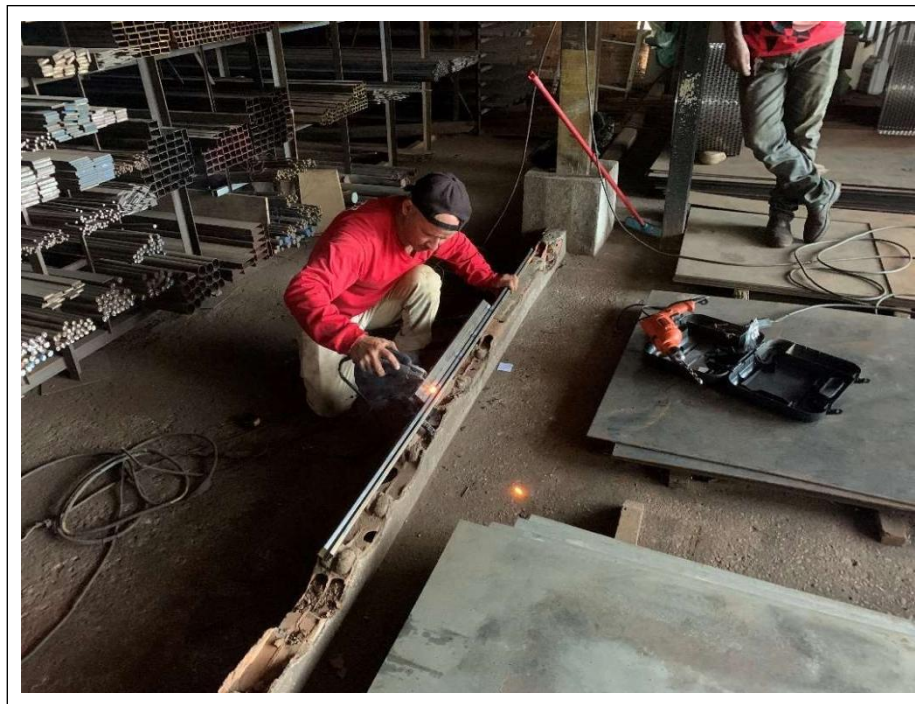


Figura 11 – Junção dos perfis de aço.

Fonte: Autores (2023).

Após a união dos perfis, procedeu-se à perfuração centralizada em ambos utilizando uma broca de 12 mm de diâmetro. Essas perfurações foram realizadas para possibilitar a passagem dos cabos que conectam a placa microcontroladora aos sensores, além de permitir a fixação do suporte ao engate de reboque do veículo por meio de um parafuso. Posteriormente, foi necessário realizar o lixamento e a aplicação de camadas de tinta spray nos perfis, com o objetivo de prevenir a oxidação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 resultados dos experimentos

1 Execução do software e hardware

Após o desenvolvimento do algoritmo e a montagem dos circuitos, nesta etapa serão descritos os testes executados com as duas placas em três configurações eletrônicas distintas. A Figura 12 expõe os respectivos circuitos eletrônicos montados.

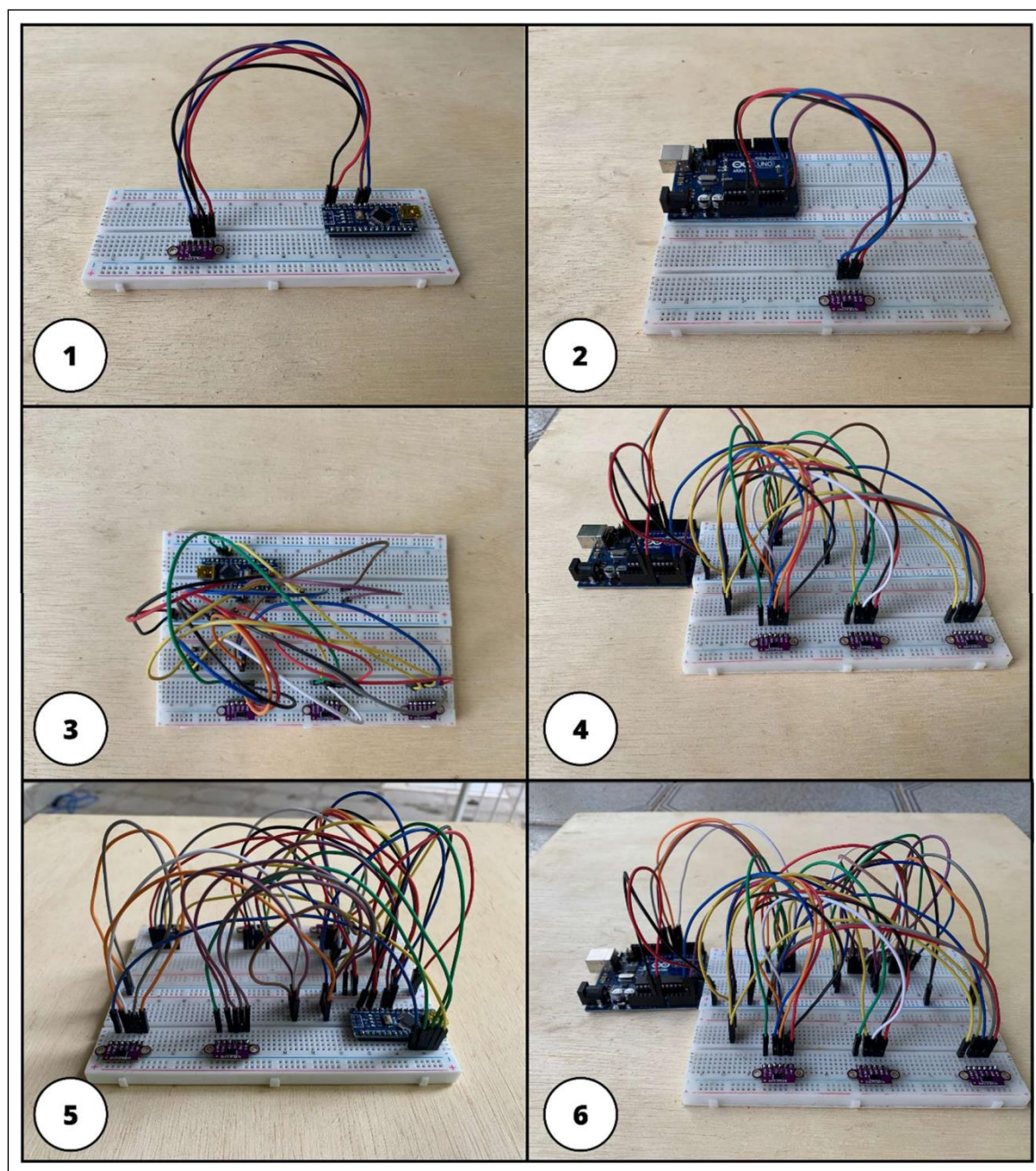


Figura 12 – Resultado dos circuitos eletrônicos montados.

Fonte: Autores (2023).

Cada número indica, em sua ordem:

- 1 → Circuito eletrônico montado para 1 sensor conectado a placa Nano
- 2 → Circuito eletrônico montado para 1 sensor conectado a placa UNO

- 3 → Circuito eletrônico montado para 3 sensores conectados a placa Nano
- 4 → Circuito eletrônico montado para 3 sensores conectados a placa UNO
- 5 → Circuito eletrônico montado para 5 sensores conectados a placa Nano
- 6 → Circuito eletrônico montado para 5 sensores conectados a placa UNO

Após a finalização dos circuitos, fez-se o *upload* do algoritmo em nas placas, obtendo-se os dados de saída para as diferentes configurações eletrônica. Dessa forma, os resultados das medições estão expostos na Figura 13.

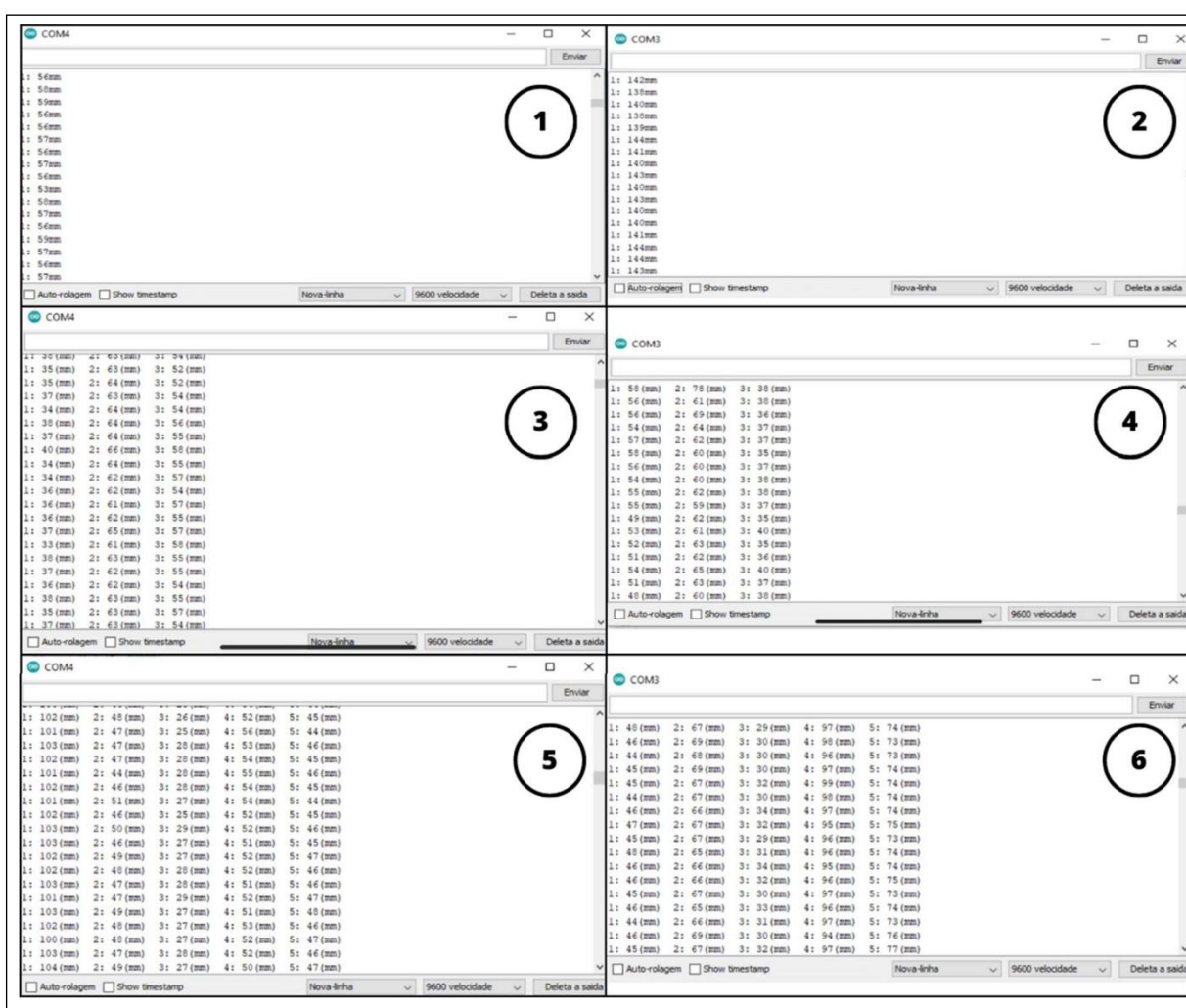


Figura 13 – Saída de dados para ambas as placas em 3 configurações de circuito.

Fonte: Autores (2023).

Cada número indica, em sua ordem:

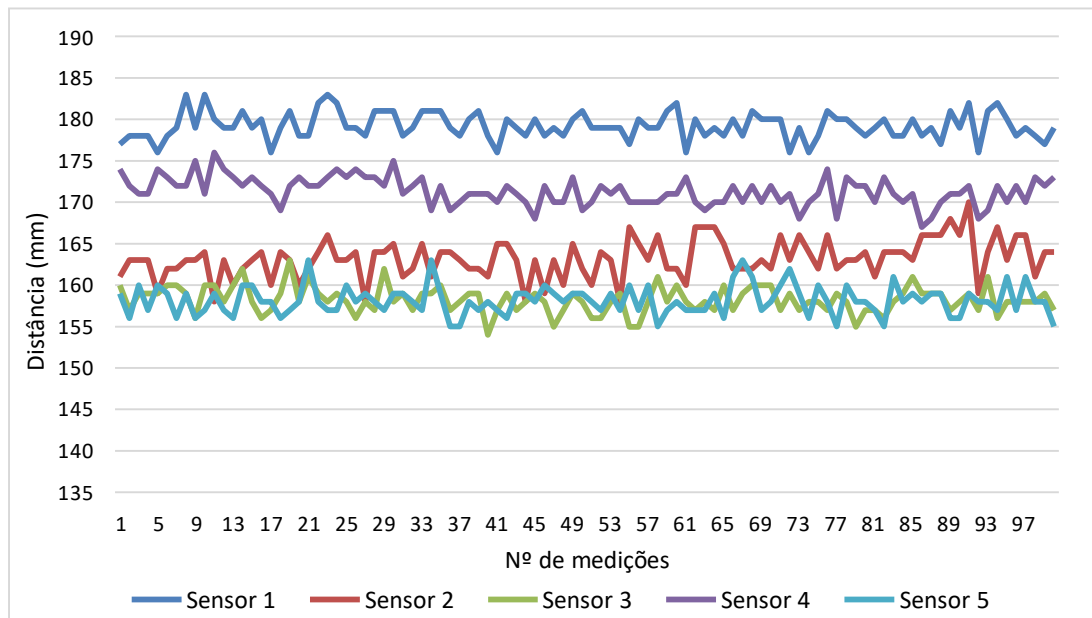
Modelo de artigo adaptado de Revista de Geociências do Nordeste (*Northeast Geosciences Journal*), v. 7, nº 1 (2021). <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n01ID>. REGNE ISSN: 2447-3359.

- 1 → Saída de dados da placa Nano conectada a 1 sensor
- 2 → Saída de dados da placa UNO conectada a 1 sensor
- 3 → Saída de dados da placa Nano conectada a 3 sensores
- 4 → Saída de dados da placa UNO conectada a 3 sensores
- 5 → Saída de dados da placa Nano conectada a 5 sensores
- 6 → Saída de dados da placa UNO conectada a 5 sensores

2 ACERCA DO TESTE DE REPETIBILIDADE DOS SENSORES

A Figura 14 expõe a distribuição dos valores de distância em um gráfico.

Figura 14 – Gráfico da variação de distância nos sensores com leituras isoladas.



Fonte: Autores (2023).

A Tabela 4 apresenta a média, variância (S) e desvio padrão (DP) para os dados de distância para cada sensor.

Tabela 4 – Descrição estatística dos dados de distância dos cinco sensores.

Sensores	Distância (mm)		
	Média	S	DP
Sensor 1	179,19	2,21	1,49
Sensor 2	163,81	4,13	2,03
Sensor 3	158,04	2,52	1,59

Modelo de artigo adaptado de Revista de Geociências do Nordeste (*Northeast Geosciences Journal*), v. 7, nº 1 (2021). <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n01ID>. REGNE ISSN: 2447-3359.

Sensor 4	170,86	2,66	1,63
Sensor 5	158,45	2,53	1,59

Fonte: Autores (2023).

3 PERFILÔMETRO LASER DESENVOLVIDO NESTA PESQUISA

Ao final dos testes realizados, o resultado do desenvolvimento do equipamento é apresentado na Figura 15.

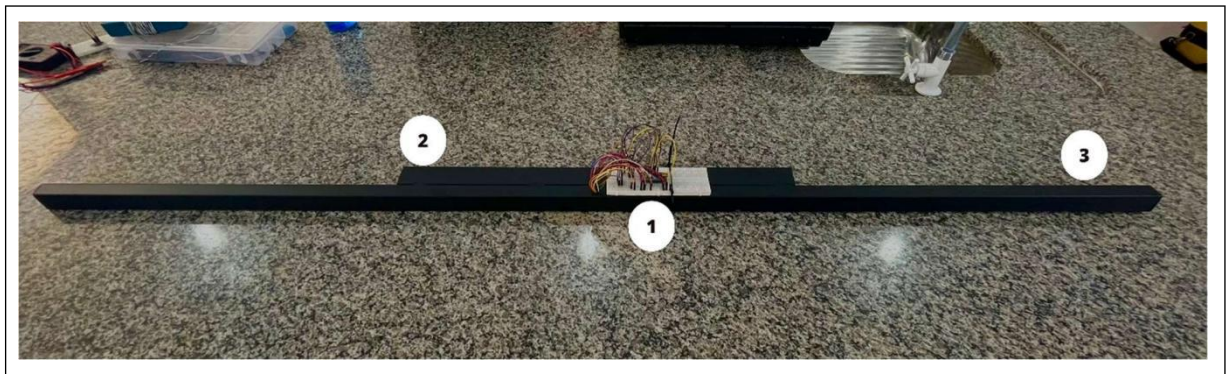


Figura 15 – Perfilômetro laser.

Fonte: Autores (2023).

Cada número indica, em sua ordem:

- 1 → Microcontrolador fixado na *protoboard* conectado aos *jumpers*
- 2 → Perfil Tubo Retangular (FQ/FF/ZC)
- 3 → Perfil Stanley

3.2 Análises

Após a conclusão dos experimentos, foi possível validar o funcionamento do algoritmo embarcado e a montagem do *hardware*. Ambos os protótipos apresentaram desempenhos satisfatórios, uma vez que foram capazes de processar as distâncias medidas pelos sensores. Contudo, foi inicialmente observado que o código incorporado nos experimentos com 3 e 5 sensores não pôde ser executado em ambas as placas, pois o mesmo excedia a memória de processamento suportada por elas.

Para tanto, foram empreendidos esforços para reduzir o número de variáveis presentes no código. Conforme destacado por Mizrahi (2005), uma variável em C, é um espaço de memória reservado para armazenar um determinado tipo de dado. Vale ressaltar que esse tipo de Modelo de artigo adaptado de Revista de Geociências do Nordeste (*Northeast Geosciences Journal*). v. 7, nº 1 (2021). <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n01ID>. REGNE ISSN: 2447-3359.

contratempo é bastante comum em sistemas embarcados. Como observado por Almeida, Moraes e Seraphim (2016), o processo de programação em C, para sistemas embarcados, apresenta algumas diferenças para a programação em C para computadores tradicionais. Existem preocupações maiores com questões de tamanho de código, consumo de memória e velocidade de execução.

A partir da análise das principais especificações técnicas e dos resultados obtidos na montagem dos circuitos, verifica-se que ambas as placas apresentam semelhanças em suas características eletrônicas. No entanto, o Arduino Nano se destaca por sua maior compacidade, devido às suas dimensões reduzidas em comparação com a placa Arduino UNO. Além disso, o Arduino Nano oferece a vantagem de ser conectado diretamente à *protoboard*, permitindo a criação de circuitos periféricos ao seu redor. Isso não apenas proporciona praticidade, mas também simplifica a gestão do projeto, eliminando a necessidade de *jumpers* entre o Arduino e a *protoboard*.

No que diz respeito a análise dos dados dos sensores, observa-se que a variância nas distâncias aferidas ficaram entre 2,21 mm² e 4,13 mm², e o desvio padrão entre $\pm 1,49$ mm e $\pm 2,03$ mm. Todos os sensores, apresentaram valores de desvio padrão menores que os referidos pelo fabricante, isso sugere que os sensores estão produzindo medições consistentes e mais próximas umas das outras. Em termos práticos, os resultados obtidos pelos sensores, por terem baixa dispersão, aumentam a confiabilidade das medições. No entanto, é importante ressaltar que a precisão necessária depende do contexto específico do uso dos sensores e das tolerâncias aceitáveis para as medições.

Adicionalmente, é evidente que a prototipagem desempenha um papel significativo no processo de desenvolvimento de projetos, uma vez que viabiliza a simulação do projeto em escala menor. Possibilitando a detecção antecipada de eventuais falhas de projeto e a realização de testes em ambiente controlado de laboratório. Além disso, como consequência desse processo, é possível obter *feedbacks* valiosos para aprimorar o projeto e alcançar resultados mais satisfatórios.

Acerca da construção do suporte de sustentação do sistema eletrônico, observa-se que o perfil Stanley foi escolhido devido à abertura ao longo do seu eixo longitudinal, dando flexibilidade ao posicionamento dos sensores e assim possibilitando o ajuste do espaçamento dos mesmos, de modo a facilitar sua utilização em vários veículos, uma vez que há grande variabilidade na dimensão do eixo traseiro dos veículos.

A respeito da escolha do material para o suporte de sustentação, é importante ressaltar Modelo de artigo adaptado de Revista de Geociências do Nordeste (*Northeast Geosciences Journal*). v. 7, nº 1 (2021). <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n01ID>. REGNE ISSN: 2447-3359.

que se optou pelo uso de perfis de aço devido à sua alta rigidez e resistência à flexão. A rigidez está diretamente relacionada ao módulo de elasticidade do material. Materiais com um módulo de elasticidade alto são considerados rígidos e têm uma menor deformação sob tensão, enquanto materiais com um módulo de elasticidade baixo são mais flexíveis e deformam-se mais facilmente (SOUZA, 1982).

Essas características impedem a movimentação vertical dos sensores, mesmo diante das vibrações dos amortecedores do veículo em movimento. Essa medida foi tomada para evitar possíveis erros no levantamento de afundamentos em futuras avaliações.

Os resultados obtidos evidenciam a viabilidade da utilização de sistemas microcontrolados em conjunto com sensores de baixo custo, uma vez demonstrada a capacidade desses sistemas em realizar tarefas de controle em tempo real, processar dados de entrada e fornecer saídas. Essa combinação permitiu a obtenção de dados das medições de distância dos sensores, com precisão de milímetros. Conseqüentemente, abrindo a possibilidade de avaliar, em futuras aplicações, as irregularidades transversais de um pavimento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

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. Dito isso, a placa Nano apresentou características que favorecem sua aplicação em futuras avaliações do ATR, tendo em vista sua compactidade e número reduzido de conexões, facilitando o gerenciamento do projeto. Além disso, a plataforma Arduino, por ser um sistema *opensource* (código aberto) traz uma redução de custos com licenças e burocracia, além de democratizar e difundir o conhecimento.

De modo geral, a vantagem de sistemas microcontrolados, como o utilizado, verifica-se pela sua versatilidade, uma vez que um mesmo microcontrolador pode ser utilizado para uma

infinitude de aplicações bastando alterações de *software*. A fim de atender aos requisitos dos projetos, há uma vasta variedade de microcontroladores disponíveis no mercado. Nesse sentido, a seleção da plataforma mais adequada deve considerar as características mais relevantes para a aplicação em questão. Consequentemente, pesquisadores, engenheiros e cientistas que trabalham com essas automações precisam não apenas conhecer os componentes eletrônicos, mas também as linguagens e ferramentas de programação adequadas para o desenvolvimento de suas aplicações.

Com base na análise dos sensores, é possível concluir que os cinco sensores podem ser utilizados, conforme a necessidade de precisão. No entanto, é crucial considerar todos os requisitos e especificações relevantes para garantir uma escolha adequada dos sensores para a aplicação em questão. Ao todo, o custo de produção do equipamento foi em torno de 250,00 R\$.

Em suma, ao considerar a aplicação de um perfilômetro laser, é imprescindível ponderar sobre a escolha adequada do sistema de varredura laser, além do sistema microcontrolador para processamento de dados e da calibração regular do equipamento. Dessa forma, todos esses componentes desempenham um papel fundamental para garantir resultados precisos e confiáveis na avaliação da superfície dos pavimentos.

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. Adicionalmente, há a intenção de empregar filtros digitais para reduzir a dispersão nos dados captados pelos sensores. Além disso, projeta-se incorporar sensores do tipo acelerômetro para possibilitar a avaliação das irregularidades associadas aos perfis longitudinal e transversal das superfícies dos pavimentos.

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 laser, pode facilitar a execução do monitoramento por parte dos gestores de pavimentos rodoviários. Nesse sentido, a incorporação de tecnologias como essa, na solução de problemas concretos enfrentados pela sociedade, tem, hoje, papel estratégico e insubstituível no processo de desenvolvimento econômico de qualquer país.

Agradecimentos

À Yanna, minha querida namorada, por seu apoio incondicional, paciência e compreensão nas minhas ausências.

Modelo de artigo adaptado de Revista de Geociências do Nordeste (*Northeast Geosciences Journal*), v. 7, nº 1 (2021). <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n01ID>. REGNE ISSN: 2447-3359.

Aos meus amigos, cujo apoio e encorajamento foram essenciais durante todo o processo. Suas palavras motivadoras e a troca de conhecimentos foram de grande valia para o sucesso deste trabalho.

Ao Professor Lucas Manoel da Silva, cuja paciência, orientação e conhecimentos compartilhados foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua dedicação em me auxiliar, mesmo nos momentos mais complexos, foi inestimável. Sou grato por sua orientação sólida e pela confiança depositada em mim.

Ao PIBITI pela concessão de bolsa de estudos pelo período de 1 ano.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Rodrigo M. A; MORAES, Carlos Henrique V.; SERAPHIM, Thatyana F. P. **Programação de sistemas embarcados**: desenvolvendo *software* para microcontroladores em linguagem C. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 520 p. ISBN 978-85-352-8518-5.

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.

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.

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

MIZRAHI, Victorine Viviane. **Treinamento em Linguagem C++**. 2. ed. [S. l.]: Pearson Universidades, 2005. 256 p. v. 1. ISBN 978-8576050452.

NETO, Benjamin B. O.; MONTEIRO, Priscila F.; QUEIROGA, Sandro L. M. Aplicabilidade dos Microcontroladores em Inovações Tecnológicas. In: **VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. 2012.

PALHAIS, Catarina B. C. **Prototipagem**: Uma abordagem ao processo de desenvolvimento de um produto. Orientador: Paulo Parra. 2015. 153 p. Dissertação (Mestrado em Desing de Equipamento) - Faculdade de Belas-Artes, Lisboa, 2015.

SOUZA, Sergio Augusto de. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**: Fundamentos teóricos e práticos. 5. ed. São Paulo: Editora Blucher, 1982. 304 p. ISBN 978-85-212-0012-13.

STMICROELETRONICS. **Time-of-Flight ranging sensor**. 2022. Disponível em: <<https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf>>. Acesso em: 25 de Abr. de 2023.