SISTEMA PARA O MAPEAMENTO DIGITAL DE AMBIENTES INTERNOS

SYSTEM FOR DIGITAL MAPPING OF INDOOR ENVIRONMENTS

Alec Gomez Yagi Rodrigues, Leonardo Raposo Rocha, Mateus Salles Novaes Rocha, Victor Faria Medeiros, Yuri Silva Cruz Storino

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia da Computação

E-mail para contato: alecrodrigues55@gmail.com, devmateussnr@gmail.com, leoraposorocha@gmail.com, victorfariamedeiros@hotmail.com

RESUMO – A metrologia evoluiu da antiguidade até os dias atuais, sendo um fator de extrema importância em diversas áreas de atuação. Na arquitetura, a evolução tecnológica se traduziu em soluções digitais mais eficientes para realizar as medições dos ambientes. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema portátil de mapeamento digital de ambientes internos, integrando as tecnologias do sensor LiDAR, Arduino MKR WiFi 1010 e interface em Python para gerar plantas 2D com medidas precisas. Os resultados demonstram a grande capacidade de atuação do sensor e a integração eficiente com o Arduino na realização de medições precisas dos ambientes, atendendo de forma satisfatória aos objetivos propostos pelo projeto.

Palavras-chave: Metrologia; Arquitetura; LiDAR; Arduino; Mapeamento.

ABSTRACT – Metrology has evolved from antiquity to the present day, becoming a crucial factor in several fields of activity. In architecture, technological advances have led to more efficient digital solutions for environmental measurement. This work aims to develop a portable system for indoor digital mapping, integrating LiDAR sensor technology, the Arduino MKR WiFi 1010, and a Python-based interface to generate accurate 2D floor plans. The results demonstrate the sensor's great performance capacity and efficient integration with Arduino in performing precise measurements of environments, satisfactorily meeting the objectives proposed by the project.

Keywords: Metrology; Architecture; LiDAR; Arduino; Mapping.

1 INTRODUÇÃO

Originada do grego "*metron*", que significa medida, e "*logos*", que significa estudo, a metrologia contempla uma antiga história. Desde os primórdios da civilização, a necessidade de padronizar medidas tornou-se essencial para o desenvolvimento do comércio e da engenharia. Era crucial que os mercadores e toda a população soubessem que uma vara de tecido na Babilônia deveria ter o mesmo comprimento que uma vara de tecido em Jerusalém, garantindo equidade nas trocas comerciais. Inicialmente, para medir comprimentos, o homem utilizava o próprio corpo como referência, dando origem a unidades de medida como polegada, palmo, pé, jarda e braça, algumas das quais ainda são empregadas nos dias atuais. Embora a metrologia tenha se expandido para diversas áreas do conhecimento, sua importância já era evidente há milênios, como demonstram evidências do uso de réguas graduadas na Civilização do Vale do Indo, por volta de 1.500 a.C conforme mostram os estudos publicados (Mede Instrumentos de medição, 2018).

De acordo com pesquisas realizadas (Régua Online, 2012), a palavra régua derivada do termo francês "*règle*", cujo significado está associado à lei ou regra, consolidou-se como ferramenta indispensável no campo da engenharia e arquitetura, possibilitando a elaboração de plantas e desenhos técnicos. A prática do desenho geométrico sempre esteve atrelada ao uso da régua e do compasso, permitindo a solução de problemas geométricos conforme postulados fundamentais estabelecidos nos "Elementos de Euclides". Contudo, estudos realizados (Elen Andrea Janzen Lôr, 2012) apresentam que ao longo dos séculos os instrumentos de medição evoluíram significativamente, incorporando avanços tecnológicos que possibilitaram medições cada vez mais precisas e automatizadas.

Durante a Idade Média, a padronização das medidas continuou a evoluir, especialmente com o surgimento das guildas e corporações de ofícios, que estabeleciam normas rigorosas para garantir a qualidade e uniformidade dos produtos. A Revolução Industrial trouxe uma nova era para a metrologia, com a necessidade de precisão nas máquinas e ferramentas utilizadas na produção em massa. Além disso, análises (La Historia, [s.d]) indicam que foi nesse período que

de acorodo com surgiram os primeiros sistemas de medição padronizados, como o sistema métrico decimal, adotado pela França em 1795 e posteriormente difundido mundialmente.

No século XX, a metrologia passou por uma transformação significativa com o advento da eletrônica e da informática. A introdução de instrumentos de medição eletrônicos, como os osciloscópios e multímetros, permitiu medições com uma precisão sem precedentes. Além disso, a criação de organismos internacionais, como o *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM), ajudou a harmonizar as unidades de medida em nível global, promovendo a uniformidade e a confiabilidade das medições em diferentes países, como mostram os dados publicados (Inmetro, 2013).

Atualmente, a integração de sensores, microcontroladores e algoritmos de processamento de dados tem revolucionado a forma como ambientes são medidos e representados digitalmente. A metrologia moderna permitiu avanços expressivos na cartografia e na modelagem de espaços internos e externos, ampliando as possibilidades de aplicação em diversas áreas, como construção civil, arquitetura e *design*. Ademais, fontes (Vonder, 2016) evidenciam que o advento de dispositivos eletrônicos sofisticados possibilita a coleta e análise de dados com rapidez e acurácia sem precedentes, aprimorando a eficiência de projetos que demandam alta precisão dimensional.

A evolução dos instrumentos de medição, desde as técnicas milenares aplicadas à construção de monumentos até as soluções digitais contemporâneas, demonstra a importância da aplicação de tecnologias avançadas na obtenção de dados precisos sobre o ambiente. Estudos recentes (Inmetro, 2013) evidenciam que a integração de sensores de alta precisão, microcontroladores e algoritmos computacionais é fundamental para aprimorar a qualidade e eficiência das medições, permitindo avanços significativos na representação e visualização de espaços físicos. Assim, o presente projeto busca contribuir para essa evolução, propondo um sistema inovador para o mapeamento digital de ambientes internos.

A metrologia desempenhou um papel crucial na exploração científica e tecnológica do século XX. A corrida espacial, por exemplo, exigiu medições extremamente precisas para o desenvolvimento de foguetes e satélites. A capacidade de medir distâncias e velocidades com alta precisão foi fundamental para o sucesso das missões espaciais, incluindo o pouso na Lua

em 1969. A metrologia também foi essencial na evolução da medicina, permitindo o desenvolvimento de equipamentos de diagnóstico avançados, como tomógrafos e ressonâncias magnéticas, que dependem de medições precisas para fornecer imagens detalhadas do corpo humano (Ruan Mayworm, 2025).

O estudo de medidas não se limita apenas às ciências exatas, ela também tem impacto significativo nas ciências sociais e humanas. Por exemplo, na arqueologia, a precisão na medição de artefatos e sítios históricos é fundamental para a reconstrução precisa de civilizações antigas. A aplicabilidade da metrologia é evidente na antropologia, ao estudar as proporções e dimensões do corpo humano ao longo da história, fornecendo materiais sobre a evolução e adaptação das diferentes populações. Dessa forma, a metrologia contribui para uma compreensão mais profunda e precisa do nosso passado e presente (La Historia, sem data).

Por fim, a metrologia moderna está cada vez mais integrada ao conceito de Indústria 4.0, em que a automação e a digitalização dos processos industriais são fundamentais. A utilização de sensores inteligentes e sistemas de medição automatizados permite a coleta de dados em tempo real, otimizando a produção e reduzindo desperdícios. A Internet das Coisas (IoT) e a inteligência artificial (IA) estão causando uma evolução na metrologia, permitindo a criação de sistemas autônomos que podem ajustar e calibrar medições sem intervenção humana. (Inmetro, 2013).

Tendo como base as tecnologias citadas, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de mapeamento de ambientes internos que, através do processamento dos dados fornecidos pelo sensor LiDAR, gerará uma visualização em duas dimensões. A visualização em duas dimensões consiste em uma planta e conterá as medidas que compõem o ambiente. Além disso, por meio de um *software*, este trabalho possibilitará a exportação das medidas no formato de arquivo DXF, que é compatível com o sistema de modelagem.

Atualmente não há soluções que incluam a geração direta de arquivos DXF, recurso amplamente utilizado por engenheiros, arquitetos e *designers*. A proposta visa otimizar o tempo gasto na obtenção de medições e na criação de modelos digitais, reduzindo a margem de erro e aumentando a produtividade em processos de projeto e execução.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A arquitetura do projeto desenvolvido (Figura 1) utiliza uma combinação de componentes eletrônicos, *software* e estrutura física projetada para garantir a coleta, transmissão e processamento eficiente dos dados de medição. Os materiais foram selecionados com base em critérios como compatibilidade de comunicação entre si e o baixo consumo energético pois o sistema de medição será alimentada através de uma bateria. A metodologia empregada abrange desde a escolha dos componentes até a implementação dos algoritmos responsáveis pelo funcionamento do sistema.

Figura 1: Arquitetura do projeto



O LiDAR Delta 2A (Figura 2) foi escolhido por ser um sensor compacto e de baixo custo com capacidade de medição de distância entre 0,13 e 8 metros, dependendo das condições ambientais, como reflexividade da superfície, incidência do feixe e iluminação. Ele utiliza o princípio do *Time of Flight* (ToF), onde um feixe de luz é emitido, reflete no objeto e retorna ao sensor, permitindo calcular a distância com uma margem de erro de ±1% e resolução de 1mm. O sensor é equipado com um motor interno responsável por girar o feixe laser em torno de seu eixo, realizando uma varredura 360º do ambiente. A comunicação entre o sensor e o microcontrolador é feita via UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), conectando o pino TX do sensor ao RX do microcontrolador. Outras opções de comunicação, como I2C e USB, foram analisadas, mas descartadas devido à necessidade de integração direta com o Arduino e a menor latência da comunicação UART.

Figura 2: Sensor LiDAR Delta 2A



A plataforma de microcontrolador utilizada é o Arduino MKR WiFi 1010, que possui o processador Atmel SAMD21, um chip ARM Cortex-M0+ de 32 bits, oferecendo baixo consumo e alto desempenho. Ele conta com o módulo de comunicação U-blox NINA-W102, permitindo conexão Wi-Fi e Bluetooth, fator essencial para a transmissão dos dados do sensor para o computador. O Arduino MKR WiFi 1010 foi selecionado por possuir características como Wi-Fi integrado, eliminando a necessidade de módulos externos; baixo consumo de energia, variando entre 70 mA em modo *idle* e 130 mA durante transmissões Wi-Fi**,** e compatibilidade com bibliotecas e ferramentas de desenvolvimento já utilizadas pelo grupo.

A alimentação do sistema é fornecida por uma bateria de 7V conectada ao pino Vin do Arduino MKR WiFi 1010, garantindo autonomia suficiente para operação em campo sem necessidade de conexão direta a uma fonte de energia externa.

Após o levantamento dos requisitos relacionados ao *hardware* do projeto, procedeu-se à fabricação da placa principal, responsável por abrigar o circuito elétrico e atuar como o núcleo central do sistema (Figura 4). A placa foi confeccionada em fenolite, utilizando uma prototipadora de circuitos impressos, com o principal objetivo de otimizar o espaço disponível, concentrando os componentes em uma área reduzida, de modo a preservar a natureza portátil do dispositivo.

O código desenvolvido para o microcontrolador é responsável por inicializar os pinos e configurar a comunicação UART com o sensor LiDAR, estabelecer conexão Wi-Fi e conectar ao servidor *WebSocket*, realizar a leitura dos dados do sensor interpretando os pacotes recebidos e enviar as informações para o servidor em tempo real via *WebSocket*. O *WebSocket* foi

escolhido por ser um protocolo bidirecional e *full-duplex*, baseado no TCP (*Transmission Control Protocol*), permitindo transmissão eficiente dos dados com latência reduzida. Isso possibilita uma atualização contínua da visualização 2D do ambiente no computador do usuário.

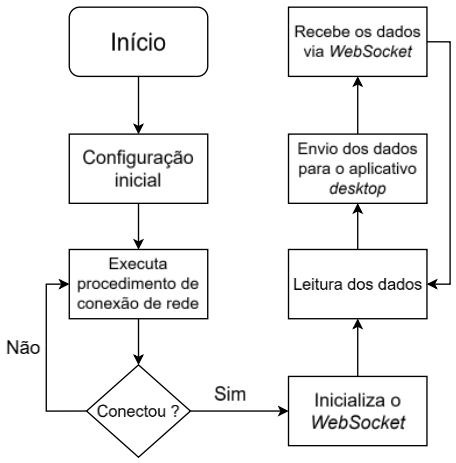
Na Figura 3 está ilustrada a interface do aplicativo que foi desenvolvida utilizando Tkinter, a biblioteca padrão do Python para interfaces gráficas. Ela é responsável por exibir em tempo real as medições captadas pelo LiDAR. Os dados são processados com a biblioteca Pygame, permitindo renderização eficiente do ambiente em 2D.

Figura 3: Interface do mapeamento de ambiente



No fluxograma, conforme Figura 4, o aplicativo é representado no último processo e possui funcionalidades de recebimento de dados via *WebSocket*, processamento e exibição gráfica do ambiente em tempo real, além da geração e exportação de arquivos DXF, permitindo o armazenamento e a futura análise dos dados captados. Com exceção do último, que é executado no dispositivo final, todos os processos são executados na plataforma de microcontrolador.

Figura 4: Fluxograma dos dados



A estrutura mecânica foi projetada no Autodesk Fusion 360, levando em conta fatores como estabilidade, leveza e fácil montagem. O material escolhido foi o PLA (*Polylactic Acid*)**,** um plástico biodegradável amplamente utilizado na impressão 3D devido à sua alta precisão e facilidade de usinagem. A impressão 3D foi realizada na Bambu Lab X1-Carbon, utilizando altura de camada de 0,2 mm, garantindo bom acabamento e detalhes precisos, preenchimento de 30%, proporcionando um bom equilíbrio entre resistência e economia de material, e temperatura de extrusão de 240 ºC e mesa aquecida a 100 ºC para melhor adesão. A montagem final foi realizada levando em consideração a fixação do sensor LiDAR para evitar vibrações que poderiam interferir na precisão das medições.

Testes foram conduzidos para garantir que os componentes se ajustassem corretamente e que o sensor tivesse um campo de visão desobstruído para uma varredura eficiente do ambiente.

Em um ambiente interno residencial, foram realizados testes para verificar a capacidade de medição em ambientes com condições de iluminação variados, foram realizados testes para verificar a precisão da medida de distância do sensor, com alcance de 1 m até 3 m. Além disso, foi analisada a confiabilidade dos dados ao longo do tempo, realizando medições repetitivas em um mesmo ponto e comparando a variação dos resultados. Outro ponto abordado relevante foi as superfícies em que o sensor pode ser utilizado em ambientes internos podem conter superfícies refletivas como espelhos, transparentes como janelas, ou irregulares de alguma

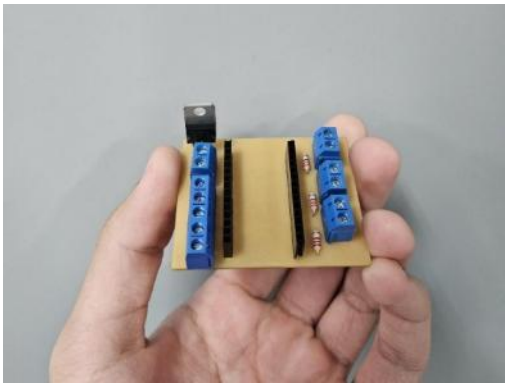
maneira contendo pilares, desníveis entre outros fatores que podem ocasionar em possíveis desvios de medição.

Por fim, um aspecto abordado foi a resposta do sistema ao receber e processar os dados do sensor. A latência total entre a captura dos dados pelo LiDAR e a exibição na interface gráfica foi mensurada. Por conta da natureza constante das medições e envio para a interface gráfica, garantir que este seja feito em um tempo rápido o suficiente para evitar latências é crucial, tanto que foi um dos motivos da escolha do Arduino MKR WiFi 1010 comparado a outros modelos de Arduino.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a fabricação, a placa de fenolite foi estanhada e soldada com os componentes eletrônicos necessários, o resultado pode ser visto na Figura 5 a seguir.

Figura 5: Placa do circuito do projeto.

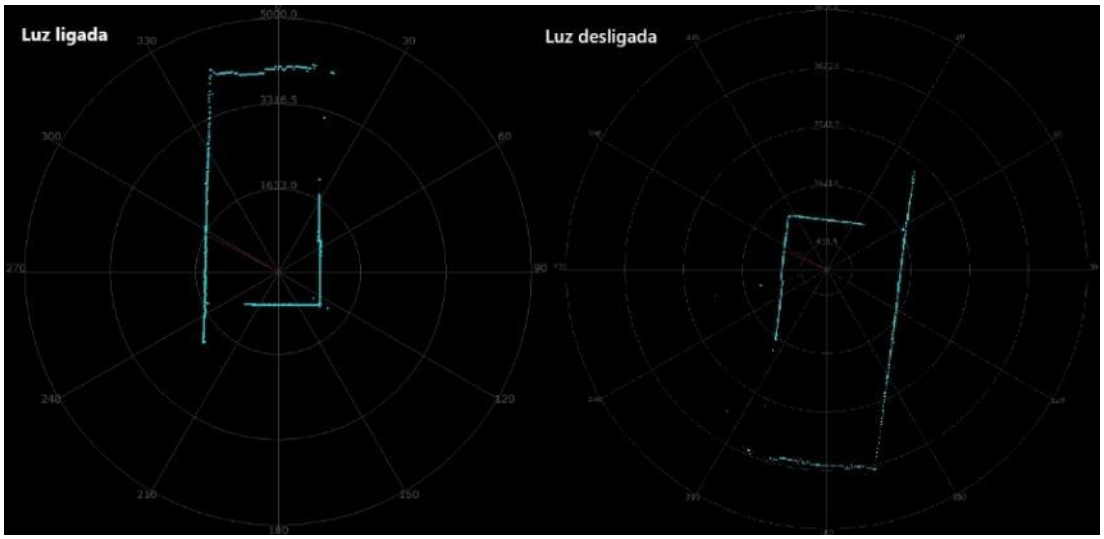


Após a conexão dos componentes eletrônicos na placa de circuito impresso e sua energização, foi possível analisar o comportamento do sistema, com foco no consumo de corrente dos componentes e na aferição das tensões fornecidas. A partir dessa verificação inicial, constatou-se que o dimensionamento do circuito, bem como as conexões realizadas, foram adequados, permitindo que os componentes operassem conforme o esperado.

Os testes realizados com o sensor atingiram os resultados esperados, contudo algumas inconsistências foram notadas que se tornaram relevantes de serem levantadas para futuro uso do projeto.

A iluminação do ambiente, como mostra a Figura 6, não impactou o resultado do mapeamento. No entanto, é recomendado evitar luz direta na saída do sensor, pois pode causar pequenas inconsistências. Isso só ocorre quando há uma fonte de luz direcionada diretamente ao sensor; a luz do ambiente comum não interfere.

Figura 6: Comparação entre medição com luz ligada (esquerda) e luz desligada (direita) em um ambiente residencial interno



Para os testes de distância, o sensor teve resultados assim como previstos, variando entre 0,01 m e 0,05 m da distância real, como pode ser visto na Tabela 1. Foram realizadas diversas medições entre 0,5 m e 3 m anotando o valor registrado e a margem em que os valores variaram até estabilizar no valor medido, essas medições foram comparadas com uma trena a laser para garantir a veracidade dos resultados.

Tabela 1: Valores obtidos de distância do sensor LiDAR Delta 2A.

Distância real	**Distância medida**	**Erro**	**Margem de variação**
0,5 m	0,509 m	0,009 m	0,005 m-0,012 m
1 m	1,004 m	0,004 m	0,001 m-0,022 m

2 m	2,047 m	0,047 m	0,025 m-0,059 m
3 m	3,029 m	0,029 m	0,011 m-0,044 m

Durante o desenvolvimento do projeto, foi realizada uma entrevista com uma profissional da área de arquitetura, a qual demonstrou grande interesse na aplicação prática do dispositivo. Segundo seu relato, a geração automatizada de plantas em 2D por meio do escaneamento de ambientes utilizando sensores LiDAR pode representar uma economia significativa de tempo nas etapas inicias dos projetos, especialmente na elaboração de *layouts* voltados ao design de interiores e ao planejamento de mobiliário, como armários e estantes. A possibilidade de utilizar diretamente o arquivo gerado como base para o trabalho técnico reforça o potencial do dispositivo como uma ferramenta prática e funcional no cotidiano profissional da arquitetura.

4 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste sistema de mapeamento digital de ambientes internos alcançou com êxito os objetivos propostos, demonstrando que as tecnologias fornecidas pelo sensor LiDAR Delta 2A são eficazes para a obtenção de plantas 2D com medições precisas e um possível passo na evolução na área de arquitetura. Foi possível comprovar a confiabilidade dos dados capturados em superfícies planas ou com poucas irregularidades, independentemente da iluminação do ambiente. No entanto, a presença de superfícies pouco refletivas ou transparentes ainda gera uma margem de erro, indicando um potencial de aprimoramento futuro para essa tecnologia. Como continuidade, recomenda-se a integração de algoritmos de Inteligência Artificial para filtragem de ruído e reconhecimento de padrões no mapeamento, bem como a substituição do microcontrolador por uma plataforma mais robusta, como um Raspberry Pi ou um sistema embarcado com maior capacidade de processamento, permitindo avanços compatíveis com os princípios da Indústria 4.0.

5 REFERÊNCIAS

ELEN ANDREA JANZEN LÔR. Postulados do Desenho Geométrico. 2012. Disponível em: https://web.archive.org/web/20150206135137/http://www.degraf.ufpr.br/docentes/Elen/Desenho%20Geometrico%20Arquitetura.pdf. Acesso em 24 de Agosto de 2024.

INMETRO. História e Evolução da Metrologia. 2013. Disponível em: https://entib.org.br/entib/FTP/repository/mac/apostilas/Evolucaoavs.pdf. Acesso em 08 de Março de 2025.

LAHISTORIA. Historia de la Metrología: Línea del Tiempo. Sem data. Disponível em: https://lahistoria.info/historia-de-la-metrologia-linea-del-tiempo/. Acesso em 08 de Março de 2025.

MEDE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO. A origem da metrologia. 2018. Disponível em: https://www.medeinstrumentos.com.br/a-origem-da-metrologia/. Acesso em 24 de Agosto de 2024.

RÉGUA ONLINE. Sobre a régua. 2012. Disponível em: https://www.reguaonline.com/sobre-a-regua.html. Acesso em 19 de Agosto de 2024.

RUAN MAYWORM. A fascinante jornada da Metrologia: da antiguidade aos dias atuais. 2025. Disponível em: https://asmetro.org.br/portalsn/2025/02/14/a-fascinante-jornada-da-metrologia-da-antiguidade-aos-dias-atuais/. Acesso em 08 de Março de 2025.

VONDER. A história dos instrumentos de medição. 2016. Disponível em: https://www.vonder.com.br/artigos/a-historia-dos-instrumentos-de-mediçao. Acesso em 25 de Agosto de 2024.