



Desenvolvimento de Software Para a Digitalização 3D

Yan de Lima Pereira | Yan.dlp@aluno.ifsc.edu.br¹

Vitor Farias de Borbas | jose.silva@ifsc.edu.br²

Sarah Even Oliveira Barbosa Fernandes | sarah.eob@aluno.ifsc.edu.br³

Adriano Regis | adriano.regis@ifsc.edu.br⁴

Trabalho de Pesquisa

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

A modernização industrial exige o controle de qualidade automatizado para superar limites dos processos manuais. Este trabalho apresenta um protótipo de scanner 3D metrológico que verifica a conformidade de peças comparando suas dimensões reais com modelos digitais. Desenvolvido em Python (PySerial, NumPy e Open3D), o sistema integra sensores de tempo de execução, processamento de coordenadas e o algoritmo ICP para alinhamento de nuvens de pontos. Os resultados validam o fluxo de dados e a interface gráfica, demonstrando a capacidade de identificar formas geométricas e apontar desvios de tolerância.

Palavras-chave: scanner 3d; inspeção dimensional; comunicação serial; nuvem de pontos.

Introdução

A tecnologia de *scanners* 3D permite transformar objetos físicos em modelos virtuais, sendo uma ferramenta essencial para a modernização industrial. Apesar de seus avanços, muitas linhas de produção ainda realizam o controle de qualidade de forma manual ou por amostragem. Esse processo possui restrições de implementação, como o aumento de custos e a dificuldade em identificar falhas em peças de geometria complexa, o que compromete o resultado final.

¹ Estudante do curso de Engenharia Mecatrônica do IFSC-Câmpus Florianópolis.

² Estudante do curso de Engenharia Mecatrônica do IFSC-Câmpus Florianópolis.

³ Professor do Departamento de Metal-Mecânica do IFSC-Câmpus Florianópolis.

⁴ Professor do Departamento de Metal-Mecânica do IFSC-Câmpus Florianópolis.

Diante disso, este trabalho justifica-se pela busca de soluções automatizadas e acessíveis para a metrologia industrial. O objetivo é desenvolver um protótipo de *scanner* 3D capaz de verificar a qualidade de peças ao comparar suas dimensões reais com um modelo digital pré-definido. O projeto une o ensino, ao aplicar conhecimentos teóricos de engenharia, à pesquisa, no desenvolvimento de algoritmos de captura.

Fundamentação teórica

A digitalização tridimensional tem se tornado uma ferramenta indispensável para a metrologia industrial moderna, permitindo a transição de métodos manuais para inspeções automatizadas e mais precisas. Segundo Lima (2013), o uso de *scanners* no ambiente de produção possibilita a coleta massiva de dados geométricos, facilitando a identificação de desvios dimensionais que passariam despercebidos em medições por pontos isolados. Essa tecnologia é fundamental para garantir a repetibilidade e a viabilidade técnica em processos de alta exigência e de geometria complexa.

O processamento dos dados depende de uma arquitetura no *software*, capaz de gerenciar a comunicação em tempo real e o tratamento estatístico das informações. No sistema desenvolvido, a integração entre o *hardware* e a interface ocorre via comunicação serial, onde os dados brutos são processados em *threads* para garantir a fluidez da interface gráfica.

No desenvolvimento de sistemas de baixo custo, o processamento de dados via *software* assume um dos papéis principais na garantia da precisão. De acordo com Maria *et al.* (2022), a utilização de sensores de tempo de execução (*Time of Flight*), exige uma arquitetura de comunicação serial eficiente para transmitir os dados de distância em tempo real para o computador.

Além de receber os dados, o *software* realiza a reconstrução geométrica e a interface com o usuário. Conforme Koneski *et al.* (2017), o desenvolvimento de algoritmos de visualização é crucial para a correta interpretação dos resultados. Essa integração entre *hardware* e interface permite visualizar a peça digitalizada e realizar análises de forma intuitiva, transformando dados brutos em informações técnicas para o controle de qualidade.

O elemento principal da aquisição óptica e reconstrução geométrica é a nuvem de pontos que, segundo Santos (2022), consiste em um conjunto denso de coordenadas tridimensionais (X , Y , Z) que descreve a superfície do objeto. Para adquirir relevância metrológica, essa estrutura é submetida a filtros matemáticos que eliminam ruídos, organizando os dados antes da medição dimensional.

Após o tratamento da nuvem de pontos, a validação metrológica exige seu alinhamento com um modelo nominal via algoritmo *Iterative Closest Point* (ICP). Segundo Santos (2022), o ICP opera iterativamente para encontrar as correspondências mais próximas entre a nuvem e a superfície padrão. A cada ciclo, calculam-se matrizes de transformação e rotação para minimizar a distância quadrática média entre os dados, viabilizando a identificação de desvios dimensionais para o controle de qualidade.

Procedimentos metodológicos

A pesquisa caracteriza-se como um estudo experimental estruturado em etapas sequenciais — da aquisição de dados ao processamento lógico e exibição de métricas em interface gráfica (Figura 1). O software foi desenvolvido em Python, selecionado pela eficiência no tratamento de grandes volumes de dados, empregando-se as seguintes bibliotecas:

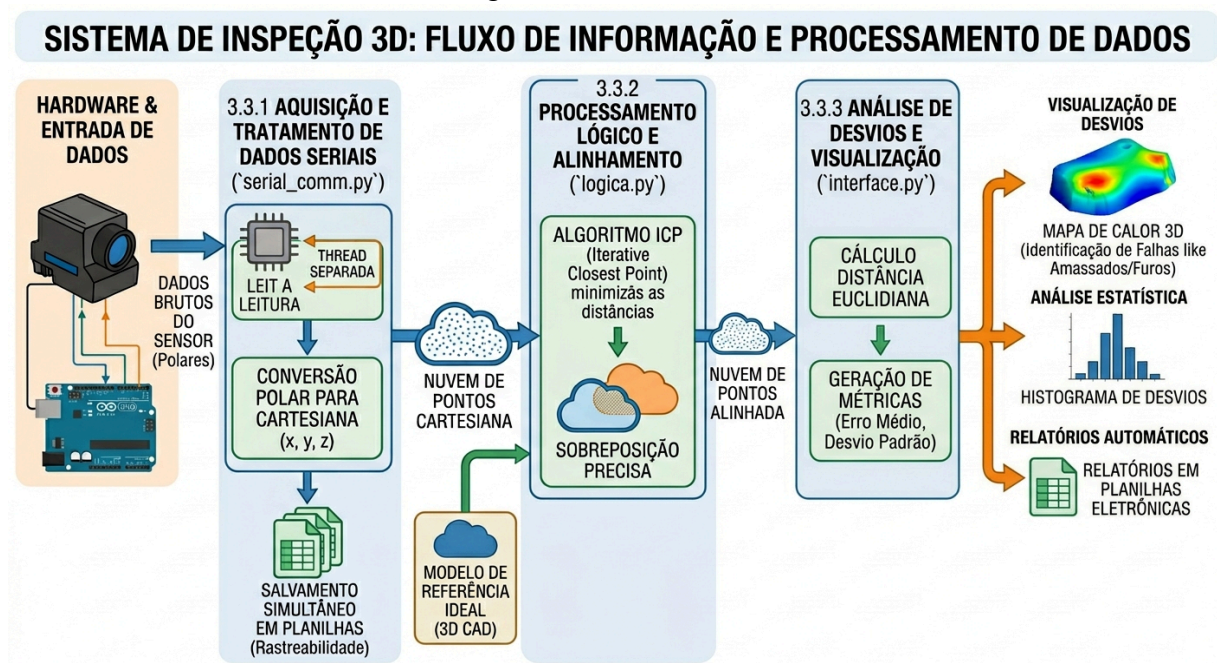
- PySerial: Gerenciamento da comunicação serial com o microcontrolador.
- NumPy e SciPy: Processamento vetorial e cálculos de geometria espacial.
- Open3D: aplicada na execução do algoritmo *Iterative Closest Point* (ICP) e reconstrução de superfícies.
- Tkinter e Matplotlib: utilizadas no desenvolvimento da interface de usuário (UI) e na visualização tridimensional em tempo real.

A primeira etapa consistiu no desenvolvimento de um módulo de comunicação (serial_comm.py) operando em *threads* separadas, permitindo que a interface permaneça responsiva enquanto o *software* realiza a leitura dos dados enviados pelo sensor. O sistema converte automaticamente as coordenadas polares recebidas do *hardware* em coordenadas cartesianas (x , y , z), salvando-as simultaneamente em banco de dados.

Com a nuvem de pontos consolidada, o software executa o alinhamento espacial entre a peça e o modelo de referência ideal, foi utilizado o algoritmo ICP para minimizar a distância entre as nuvens de pontos, permitindo uma sobreposição precisa para a análise dimensional. Esta etapa, centralizada no módulo `logica.py`, é fundamental para que a comparação de qualidade não seja afetada por desalinhamentos físicos da peça na mesa do *scanner*.

Na etapa final, o cálculo da distância euclidiana entre a peça real e o modelo digital gera o erro médio e o desvio padrão, exibidos na interface gráfica (`interface.py`) via mapas de calor e histogramas. Isso permite identificar falhas imediatas (como amassados ou furos), exibindo um aviso caso a peça seja potencialmente defeituosa e quantificando os pontos fora da tolerância.

Figura 1 – Fluxo de Dados



Fonte: Os Autores (2026)

Resultados e discussões

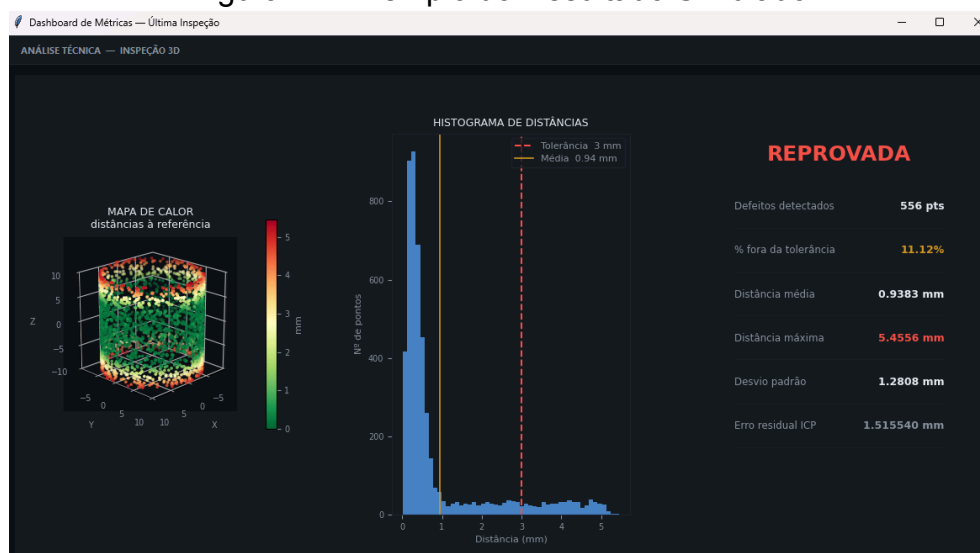
Como resultado principal, foi desenvolvido um *software* modular em Python, estruturado para integrar a aquisição de dados via *hardware* (Arduino e Sensores) e o processamento geométrico. A interface gráfica, construída com a biblioteca Tkinter,

permite o controle em tempo real da captura, visualização da nuvem de pontos através do Matplotlib e a geração automática de relatórios em planilhas.

Para validar os algoritmos de inspeção independentemente de falhas de *hardware*, foi implementado um modo de simulação. Neste ambiente, o *software* gera geometrias perfeitas (cilindros e esferas) e aplica defeitos controlados, como furos e deformações.

Os testes simulados demonstraram que o algoritmo de comparação é capaz de identificar desvios dimensionais com precisão, gerando mapas de calor que facilitam a visualização de falhas de fabricação. Este modo provou-se essencial como teste, para validar a lógica de inspeção automatizada, conforme a figura 2.

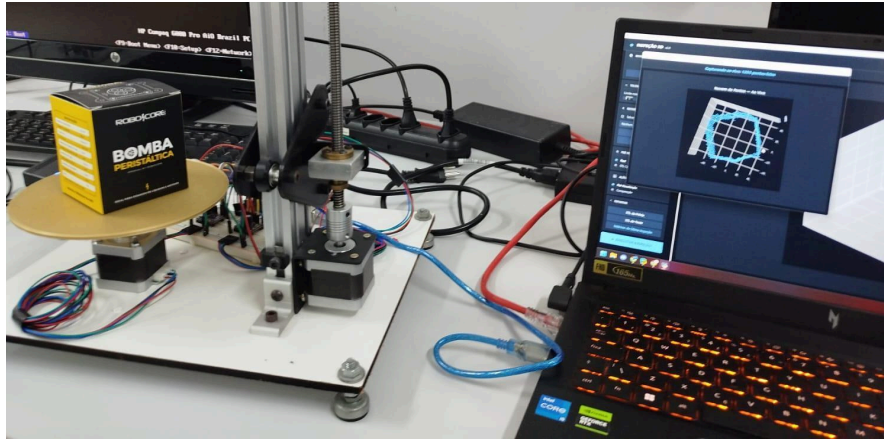
Figura 2 – Exemplo do Resultado Simulado



Fonte: Os Autores (2026)

Nos testes realizados com um sensor físico (figura 3), o protótipo foi capaz de capturar geometrias básicas dos objetos submetidos à inspeção. Entretanto, as nuvens de pontos resultantes apresentaram ruídos significativos e imperfeições na densidade de dados.

Figura 3 – Teste de Captura da Peça



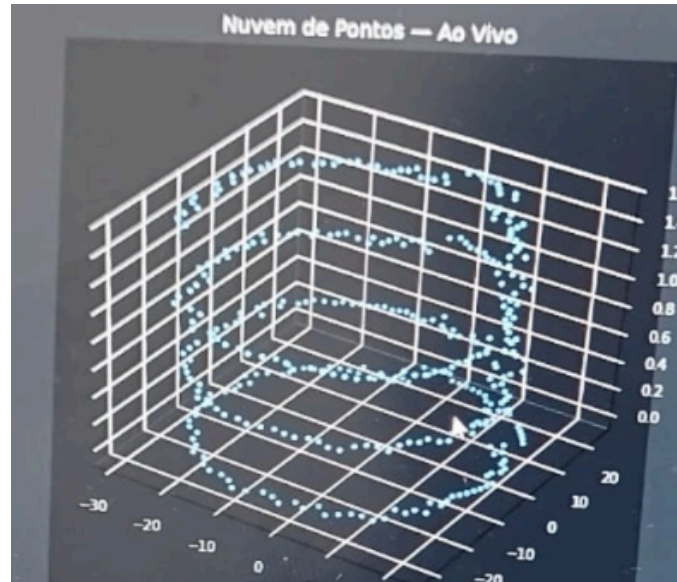
Fonte: Os Autores (2026)

Embora a peça seja identificável em 3D, a precisão metrológica é afetada por: instabilidade na leitura serial (variações de tensão ou tempo de resposta gerando ruídos); resolução angular (a conversão de coordenadas polares para cartesianas exige passos menores para evitar lacunas); e vibrações mecânicas (interferências físicas que causam irregularidades na superfície reconstruída).

Apesar das imperfeições detectadas, o sistema cumpre o objetivo de integrar hardware e software para inspeção 3D. A capacidade de visualizar o formato básico da peça, como observado nos resultados iniciais, valida a viabilidade do método de triangulação e do fluxo de dados estabelecido.

A presença de ruídos (figura 4), embora limite a aplicação industrial imediata do protótipo, fornece dados valiosos para o avanço da pesquisa e a comparação entre o modo simulado (ideal) e o modo real (com ruído) destaca que a principal oportunidade de melhoria consiste no tratamento de sinais e do sistema de aquisição.

Figura 4 – Ruídos de Captura da Peça



Fonte: Os Autores (2026)

Considerações finais

A realização deste trabalho permitiu cumprir o objetivo principal de desenvolver um protótipo funcional de software de *scanner* 3D voltado para a metrologia. A integração entre *hardware* e *software* demonstrou ser tecnicamente viável, validando o fluxo de dados que vai desde a captura via sensores de tempo de voo até a análise de desvios dimensionais por meio do algoritmo *Iterative Closest Point* (ICP).

As escolhas metodológicas, especialmente o uso da linguagem Python e suas bibliotecas especializadas, mostraram-se acertadas para garantir um processamento robusto e uma interface amigável.

Embora os testes físicos tenham revelado limitações devido à precisão do sensor e o ruído de leitura, o modo simulado comprovou a eficiência da lógica de inspeção desenvolvida. As dificuldades não invalidam o projeto, pelo contrário, fornecem um diagnóstico claro para futuras melhorias, como a implementação de filtros digitais, outros tipos de sensores e refinamentos nas partes mecânicas.



Referência ao fomento recebido

Este projeto foi fomentado com recursos do Programa de Educação Tutorial – PET MECATRÔNICA, vinculado ao Ministério da Educação.

Referências

LIMA, R. D. **Uso de Scanner 3D para o Controle de Qualidade Industrial**. Uninove, 2013. disponível em:

<https://bibliotecatede.uninove.br/bitstream/tede/3502/2/Renan%20Duarte%20de%20Lima.pdf>

MARIA, P. S. et al. **Surface 3D Scanner Using Time of Flight Ranging Sensor with Cylindrical Coordinate System**. Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics, v. 7, n. 1, p. 36-45, 2022. Disponível em:

<https://media.neliti.com/media/publications/432567-surface-3d-scanner-using-time-of-flight-d1c4dd7d.pdf>.

KONESKI, A. L. Z. et al. **Desenvolvimento de um scanner 3D de baixo custo para auxílio no processo de engenharia reversa**. Atas de Ciências da Saúde, v. 5, n. 1, 2017. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/acotb/article/view/10805>.

SANTOS, Vinicius Matheus dos. **Ferramentas para escaneamento por triangulação a laser e reconstrução tridimensional**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, 2022. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29130>.