

# DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA UMA BANCADA DE MANUFATURA ADITIVA

**Palavras-Chave: ANÁLISE DE DADOS, MONITORAMENTO EM TEMPO REAL, SENSORES EMBARCADOS**

**Autores(as):**

**VITOR ORSOLI VIEIRA SOARES, FCA - UNICAMP**

**Prof. Dr. JAIME HIDEO IZUKA (orientador), FCA - UNICAMP**

**Prof. Dr. EDUARDO PAIVA OKABE (coorientador), FCA - UNICAMP**

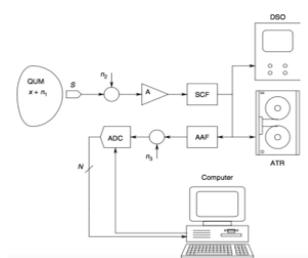
## INTRODUÇÃO:

A crescente competitividade no setor industrial exige métodos de fabricação capazes de produzir componentes de alta qualidade, com menores custos e reduzido impacto ambiental. Processos convencionais para a produção de peças metálicas, como conformação plástica, fundição e usinagem, apresentam limitações: são demorados, demandam ferramentas de alto custo e geram significativo desperdício de material, resultando em elevados volumes de resíduos (FOX, 2016).

Nos últimos anos, a Manufatura Aditiva (MA) tem se destacado como uma alternativa promissora, especialmente por sua capacidade de fabricar peças complexas com elevada eficiência no uso de materiais. Essa tecnologia tem atraído crescente atenção de setores como o aeroespacial e o automotivo, que demandam componentes leves, resistentes e com geometrias sofisticadas. Em relação à usinagem convencional, a MA oferece vantagens como maior aproveitamento de material, redução da relação “buy-to-fly”, menores custos de processamento e acabamento, além de melhorias nas propriedades mecânicas dos produtos finais (RASIYA et al., 2021). Dessa forma, a criação de objetos tridimensionais a partir de arquivos digitais consolidou-se como uma solução eficaz e cada vez mais adotada pela indústria (FRAZIER, 2014; SAMES, 2016; DEBROY, 2018).

Paralelamente, a instrumentalização e o monitoramento de equipamentos têm papel essencial no avanço desses processos, permitindo tanto a automação quanto a coleta e análise de dados de grandezas físicas. Um sistema de aquisição de dados transforma medições físicas analógicas — como temperatura, pressão, massa e tensão elétrica — em informações digitais, possibilitando seu processamento (NORTHROP, 2005), como ilustra a Figura 1. Nesse processo, um sensor converte a grandeza física em um sinal elétrico, que é então tratado por um circuito condicionador composto por amplificadores e filtros, garantindo níveis de tensão adequados, boa relação sinal/ruído e baixa distorção harmônica. Após esse condicionamento, o sinal é convertido para o formato digital (ADC) e processado em um computador, podendo ser visualizado ou armazenado para análises posteriores.

**Figura 1:** Esquema de um sistema de aquisição de dados. **Fonte:** Northrop, 2018.



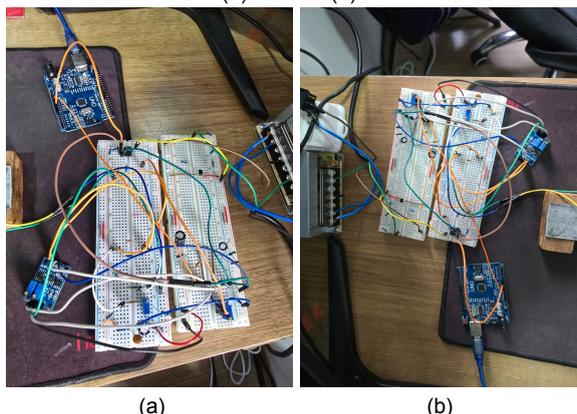
Entre os sensores empregados nesse tipo de sistema, destacam-se os extensômetros elétricos de resistência (strain gages), amplamente utilizados não apenas para medir deformações, mas

também na construção de transdutores destinados à medição indireta de grandezas mecânicas, como forças e torques. Isso é possível porque os strain gages captam as deformações geradas no elemento sensível do transdutor em resposta à aplicação dessas grandezas, permitindo sua quantificação de forma indireta (KEIL, 2017).

## METODOLOGIA:

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizado e modificado o circuito eletrônico e o código originalmente desenvolvidos no Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de Guilherme Nunes Soares, intitulado “*Projeto de Dinamômetro para Torneamento*”. Inicialmente, realizou-se a montagem do esquema eletrônico (Figura 2) e o ajuste dos níveis de tensão para adequação ao microcontrolador STM32 Blackpill, visto que o projeto original foi desenvolvido para uso com Arduino. Essa modificação foi necessária para evitar danos ao microcontrolador, reduzindo a tensão de operação para valores inferiores a 3,3 V.

Figura 2: Circuito eletrônico (a) Vista 1 (b) Vista 2. Fonte: Soares, 2025.



Para a programação do Blackpill, utilizou-se o *Visual Studio Code* com o módulo *PlatformIO*, que permitiu a compilação e gravação do código no microcontrolador. A configuração do dispositivo e o código final, contendo as modificações necessárias para este trabalho.

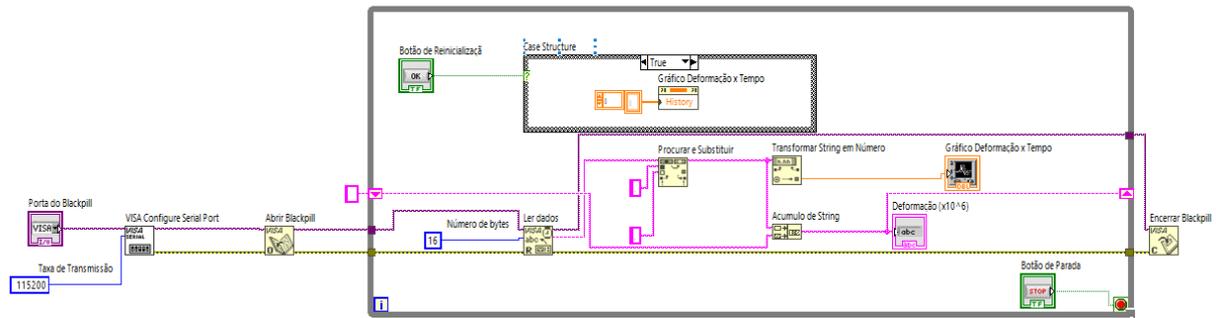
Em seguida, desenvolveu-se um *VI (Virtual Instrument)* no *LabVIEW*, composto por dois ambientes: o *Front Panel*, que corresponde à interface gráfica com controles, indicadores e gráficos, e o *Block Diagram*, onde se define a lógica do sistema por meio de blocos funcionais (operações, estruturas de controle e comunicação com hardware).

Para a comunicação entre o Blackpill e o computador, utilizou-se o módulo *VISA (Virtual Instrument Software Architecture)*, um padrão desenvolvido pela National Instruments que unifica o controle de dispositivos externos em diversos protocolos (Serial, GPIB, USB, Ethernet/TCP-IP). No contexto deste trabalho, o *VISA* foi configurado para comunicação serial, ajustando parâmetros como baud rate, paridade e bits de parada. Essa interface possibilitou a aquisição contínua dos dados do strain gage, enviados pelo microcontrolador, que foram processados no *Block Diagram* e exibidos em tempo real no *Front Panel*.

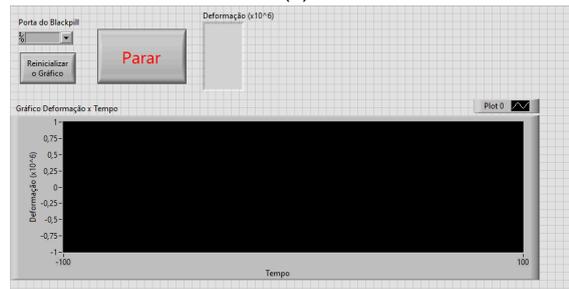
Os dados de deformação foram transmitidos pelo Blackpill como strings (sequências de caracteres), sendo necessária a conversão para o formato *DBL (Double-Precision Floating-Point)*, que permite representar números reais com maior precisão, viabilizando seu tratamento matemático e visualização gráfica.

No *Block Diagram*, implementou-se um loop de aquisição contínua, associado a um botão de parada, garantindo atualização constante dos dados e encerramento seguro do *VI*. No *Front Panel*, inseriu-se um indicador numérico para exibir dinamicamente os valores de deformação e um gráfico *XY*, no qual o eixo *Y* representa a deformação em microstrain e o eixo *X* representa o tempo em milissegundos. Adicionalmente, foi criado um botão de reinicialização que permite limpar o histórico do gráfico e reiniciar a contagem de tempo, otimizando a execução de novas medições. Todo o *VI* desenvolvido é apresentado na Figura 3.

**Figura 3:** Interface Visual do LabView. (a) Diagrama de Blocos (b) Painel Frontal. **Fonte:** Autoria Própria.



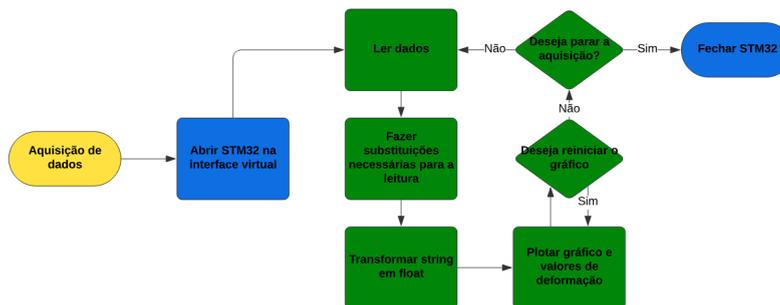
(a)



(b)

A Figura 4 apresenta o fluxograma da metodologia, destacando em amarelo os processos executados no microcontrolador, em azul as etapas referentes à comunicação via módulo VISA, e em verde as funções implementadas no *LabVIEW* para o tratamento e visualização dos dados adquiridos.

**Figura 4:** Fluxograma do processo de tratamento de dados. **Fonte:** Autoria Própria.

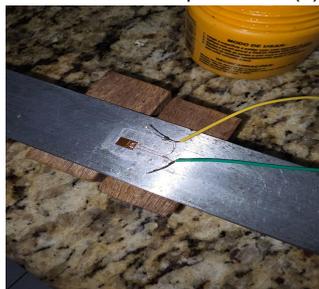


Além disso, realizou-se uma análise por Método dos Elementos Finitos (MEF), empregando o software *Ansys*, com o objetivo de simular e avaliar os níveis de deformação e tensão que o corpo em estudo estaria sujeito sob as condições de carregamento aplicadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Para validar o funcionamento do sistema, fixou-se um extensômetro em uma chapa metálica apoiada por dois blocos de madeira posicionados em suas extremidades, de modo a permitir sua deformação sob a aplicação de carga, conforme ilustrado na Figura 5a.

**Figura 5:** Fixação do extensômetro na chapa. **Fonte:** (a) Soares, 2025.



Em seguida, posicionou-se no centro da chapa um corpo de prova com massa de 256 g, juntamente com um cilindro de apoio com diâmetro de 32 mm e massa desprezível. Durante o ensaio, a deformação foi registrada em microstrain ao longo do tempo, sendo os resultados organizados e apresentados graficamente em função do tempo, em milissegundos, conforme ilustrado na Figura 6.

**Figura 6:** Resultados do experimento. Fonte: Autoria própria.



Foi realizada uma análise com duração aproximada de 40 s, na qual observa-se uma curva ascendente acentuada no instante em que o corpo de prova (massa 256g) foi colocado sobre a chapa instrumentada, evidenciando um claro aumento na deformação decorrente da aplicação da carga. Após esse incremento inicial, a deformação apresentou um patamar quase estável, alcançando um valor máximo de aproximadamente  $2,75 \mu\epsilon$ , o que indica que o condicionamento do sinal e a fixação do extensômetro foram adequados para a aquisição.

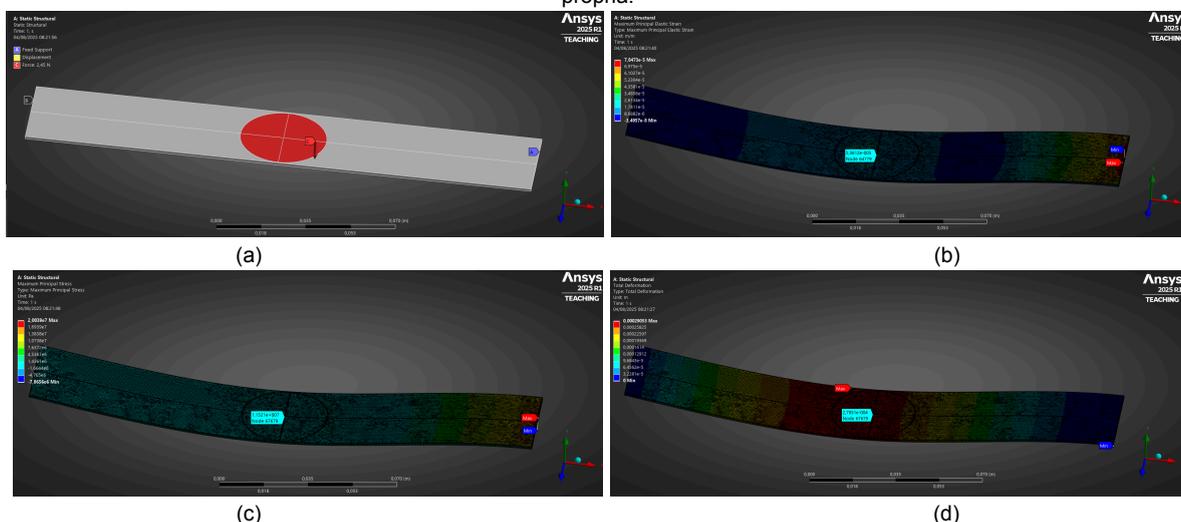
O gráfico demonstra uma demora para alcançar o pico de deformação, evidenciando que a chapa demora para se deformar, uma propriedade bem comum para metais.

Posteriormente, a queda da deformação após a retirada da carga demonstra que não houve deformação plástica significativa, uma vez que o sistema retornou próximo ao valor inicial. Esse comportamento é esperado, pois a massa do corpo de prova (256 g) não foi suficiente para gerar tensões que superassem o limite elástico do material, não atingindo, portanto, o regime plástico — o que também pôde ser evidenciado pelos resultados obtidos na simulação pelo software Ansys. Essa resposta é condizente com o comportamento elástico do conjunto e confirma a integridade do extensômetro.

Entretanto, foram observadas oscilações de pequena amplitude no sinal, atribuídas principalmente a ruídos eletrônicos e vibrações do ambiente laboratorial.

Com o Ansys foi possível obter não apenas a deformação — principal resultado buscado —, mas também a tensão exercida no local do extensômetro e o deslocamento correspondente, conforme ilustrado na Figura 7. No entanto, os valores obtidos na simulação apresentaram diferenças em relação aos resultados experimentais, evidenciando a necessidade de realizar uma calibração no código de aquisição de sinal. Essa calibração é essencial para correlacionar de forma precisa a deformação medida em microstrain com os valores de força aplicados, possibilitando análises quantitativas mais confiáveis.

**Figura 7:** Resultados obtidos no Ansys (a) Condições de Contorno (b) Deformação (c) Tensão máxima (d) Deslocamento. Fonte: Autoria própria.



A etapa de calibração será realizada em momento oportuno, com o objetivo de ajustar e validar os parâmetros do sistema para garantir a precisão dos resultados. Todo o procedimento, bem como os resultados obtidos, serão apresentados de forma detalhada no relatório final.

## CONCLUSÕES:

O sistema de aquisição de dados desenvolvido demonstrou ser eficaz para o monitoramento em tempo real de deformações mecânicas utilizando extensômetros elétricos de resistência, integrando com sucesso o microcontrolador STM32 Blackpill ao ambiente LabVIEW por meio da interface VISA. As modificações realizadas no circuito original, assim como a implementação do VI com recursos de visualização dinâmica, permitiram a obtenção de dados consistentes e de fácil interpretação.

O sistema se mostrou bem eficaz na detecção de aplicação e remoção de carga, apresentando respostas coerentes com o comportamento elástico do conjunto instrumentado. Foram observados oscilações no sinal, atribuídas a ruídos eletrônicos e condições do ambiente experimental. Porém, os resultados não se mostraram satisfatórios quando comparados com os resultados da simulação computacional, indicando a necessidade de fazer uma calibração no sistema para se ter dados mais confiáveis durante a leitura do sensor.

Portanto, o trabalho está progredindo bem, viabilizando uma plataforma inicial para estudos de deformação em processos de manufatura aditiva. Futuras etapas incluem a calibração do sistema para quantificação precisa de forças aplicadas e revisão do local que se deseja obter as medidas de deformações.

---

## BIBLIOGRAFIA

- DEBROY, Tarasankar et al. Additive manufacturing of metallic components—process, structure and properties. **Progress in Materials Science**, v. 92, p. 112-224, 2018.
- FOX, Stephen et al. Recent developments in melting and casting technologies for titanium alloys. In: **Proceedings of the 13th World Conference on Titanium**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2016. p. 347-358.
- FRAZIER, William E. Metal additive manufacturing: a review. **Journal of Materials Engineering and performance**, v. 23, p. 1917-1928, 2014.
- KEIL, Stefan. **Technology and Practical Use of Strain Gages: With Particular Consideration of Stress Analysis Using Strain Gages**. Berlin, Wilhelm Ernst & Sohn, 2017.
- NORTHROP, Robert B. **Introduction to instrumentation and measurements**. CRC press, 2018.
- RASIYA, Gulnaaz; SHUKLA, Abhinav; SARAN, Karan. Additive manufacturing-A review. **Materials today: proceedings**, v. 47, p. 6896–6901, 2021.
- SAMES, William J. et al. The metallurgy and processing science of metal additive manufacturing. **International materials reviews**, v. 61, n. 5, p. 315-360, 2016.
- SOARES, Guilherme N., **Projeto de dinamômetro para torneamento**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2025.