

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO TÉRMICO UTILIZANDO ESP32 E MAX6675

Amanda de Lima Peres¹, Ricky Nemer Ribeiro², Vitor Trugilho Zardo³, Sayd Farage David⁴.

¹Instituto Federal do Espírito Santo, Rodovia – 482 Fazenda Morro Grande – 29311-970 - Cachoeiro de Itapemirim – ES, Brasil, amandalimaperes@gmail.com, rickynemer@hotmail.com, vitruzardo@gmail.com, saydfd@ifes.edu.br.

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento do *Temperature Monitoring and Data System* (TMDS), um aparato eletrônico modular e de baixo custo voltado para a aquisição de dados térmicos em laboratórios de ciência dos materiais. O sistema é composto por um microcontrolador ESP32, um termopar tipo K e o módulo conversor MAX6675, integrados a um firmware customizado elaborado na plataforma Arduino IDE. O TMDS foi projetado para realizar leituras contínuas de temperatura, organizadas em arquivos de texto no padrão tempo;temperatura, compatíveis com softwares de análise científica. Além do armazenamento local, os dados são transmitidos via Wi-Fi para um servidor interno, que os arquiva de forma automática e cronológica. A seção de resultados apresentou a montagem em bancada, a estrutura típica de arquivos gerados e o fluxo de dados até o servidor, destacando a simplicidade e escalabilidade do sistema. Os achados demonstram que o TMDS constitui uma alternativa técnica acessível e adaptável, capaz de ampliar o acesso a tecnologias de monitoramento térmico digital em ambientes acadêmicos e de pesquisa aplicada.

Palavras-chave: Aquisição de dados térmicos. Monitoramento de temperatura. ESP32. Internet das Coisas (IoT). Instrumentação científica acessível.

Área do Conhecimento: Engenharias – Engenharia Mecânica

Introdução

A medição precisa de temperatura é fundamental em diferentes processos da ciência dos materiais, como sinterização, recozimento, têmpera, tratamentos térmicos convencionais e não convencionais, ensaios de oxidação e caracterizações térmicas. A exatidão e a rastreabilidade dos dados coletados são essenciais para assegurar a reprodutibilidade experimental e a validação de modelos termodinâmicos, cinéticos ou estruturais. No entanto, laboratórios acadêmicos e centros emergentes de inovação tecnológica frequentemente enfrentam limitações no acesso a sistemas automatizados e acessíveis, o que pode comprometer o rigor metodológico.

Tradicionalmente, os sistemas de aquisição de dados térmicos dependem de equipamentos de alto custo, como pirômetros ópticos, sensores infravermelhos industriais e estações de controle proprietárias. Apesar de confiáveis, esses sistemas apresentam barreiras relacionadas ao preço elevado, à necessidade de manutenção especializada e à baixa flexibilidade de integração com redes locais e formatos de exportação automatizada de dados (.csv, .txt). Tais restrições reduzem sua aplicabilidade em contextos de ensino e pesquisa de pequeno e médio porte.

Nesse cenário, soluções fundamentadas em plataformas de hardware livre e de baixo custo tornam-se alternativas promissoras. O microcontrolador ESP32 é um exemplo representativo: trata-se de um dispositivo de 32 bits, com conectividade Wi-Fi e Bluetooth integrada, amplamente utilizado em projetos de Internet das Coisas (IoT) devido à sua capacidade de processamento, flexibilidade e custo reduzido (Pratikto et al., 2023). Quando associado a sensores consolidados, como o termopar tipo K, e a módulos de aquisição como o MAX6675, o ESP32 possibilita a construção de sistemas de monitoramento térmico confiáveis e escaláveis.

Evidências recentes reforçam esse potencial. Kalamaras et al. (2025) utilizaram o ESP32 para monitoramento online de reatores biológicos, enquanto Putri et al. (2025) aplicaram plataformas abertas em coleta ambiental. Santos (2025) investigou o comportamento térmico do próprio módulo ESP32, apontando estratégias para reduzir aquecimento e ampliar robustez. Além disso, Rosa (2022) destacou

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

a aplicação da IoT em instrumentação científica para contextos como agricultura de precisão, controle ambiental e ensino técnico, reforçando a tendência de expansão dessas tecnologias. Contudo, observa-se que, no campo específico da ciência dos materiais, a adoção de tais soluções ainda é incipiente, revelando uma lacuna a ser preenchida.

Diante desse panorama, o presente trabalho propõe o desenvolvimento do *Temperature Monitoring and Data System* (TMDS), um aparato modular e de baixo custo destinado ao monitoramento térmico em laboratórios de ciência dos materiais. O sistema foi concebido para realizar medições contínuas de temperatura, transmiti-las via Wi-Fi a um servidor local e gerar arquivos de texto no formato “tempo;temperatura”, compatíveis com softwares científicos amplamente utilizados. A contribuição central do TMDS é oferecer uma alternativa técnica e economicamente viável às soluções comerciais de alto custo, com ênfase em simplicidade, reprodutibilidade e escalabilidade, democratizando o acesso a tecnologias de instrumentação científica em ambientes de ensino e pesquisa aplicada.

Metodologia

O desenvolvimento do *Temperature Monitoring and Data System* (TMDS) foi conduzido de forma sistemática, contemplando a seleção dos componentes, a montagem do circuito eletrônico, a programação do *firmware* e a integração do sistema a um servidor local para análise e armazenamento de dados.

A definição dos elementos utilizados foi orientada por três critérios centrais: custo acessível, disponibilidade comercial e compatibilidade técnica. O núcleo do aparato foi constituído pelo ESP32 DevKit v1, microcontrolador dual-core de 32 bits com conectividade Wi-Fi integrada, amplamente empregado em projetos de Internet das Coisas (IoT) pela sua flexibilidade e suporte a bibliotecas de código aberto. O termopar tipo K de ponta exposta foi selecionado como sensor de temperatura, em virtude da robustez, do baixo custo e da ampla faixa de operação, que pode alcançar até 1100 °C, característica que o torna adequado a diferentes contextos laboratoriais. O módulo MAX6675, conversor analógico-digital dedicado para termopares do tipo K, foi incorporado para realizar a conversão do sinal termoeletrônico em valores digitais, oferecendo resolução de 0,25 °C.

Além desses, foram empregados protoboard para a fase inicial de prototipagem e placa de circuito impresso (PCI) para a montagem definitiva, bem como cabos AWG 22 para interconexão elétrica, fonte de alimentação de 5 V DC, bibliotecas específicas para o Arduino IDE (MAX6675.h, Wi-Fi.h e SPI.h) e softwares de análise (Microsoft Excel e Python). A Tabela 1 sintetiza os materiais empregados, destacando suas especificações e finalidades.

Tabela 1 – Lista de materiais utilizados na construção do TMDS.

Item	Descrição Técnica	Finalidade
ESP32 DevKit v1	Microcontrolador dual-core com Wi-Fi integrado	Unidade de controle e transmissão
Termopar tipo K	C° faixa até 1100 ,Ponta exposta	Medição de temperatura
Módulo MAX6675	Conversor analógico-digital para termopares tipo K	Conversão de sinal e leitura digital
Protoboard ou PCI	Protoboard para testes e placa de circuito impresso para montagem final	Estrutura de montagem do circuito
Cabos e jumpers AWG 22	Fios para interconexão dos módulos	Conexão elétrica dos componentes
Fonte 5 V DC	Alimentação via fonte externa ou USB	Fornecimento de energia ao sistema
Bibliotecas Arduino SPI ,Wi-Fi ,(MAX6675	Bibliotecas para programação no Arduino IDE	Comunicação e controle do sensor
Software Arduino IDE	Ambiente de programação	Desenvolvimento e gravação do firmware
Computador para análise de dados	txt . Software para leitura de arquivos (.etc ,Python ,(Excel	Interpretação e visualização dos dados obtidos

Fonte: elaborada pelo próprio autor.

A montagem inicial foi conduzida em protoboard, permitindo validar as conexões elétricas e a leitura dos sinais antes da transferência para a PCI. O termopar tipo K foi conectado ao módulo MAX6675

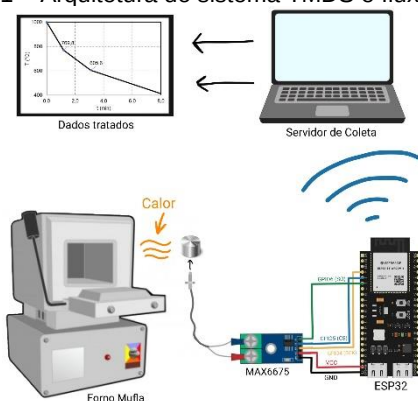
A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

pelos terminais padrão, enquanto este foi interligado ao ESP32 por meio da interface SPI (*Serial Peripheral Interface*), utilizando os pinos CLK, CS e DO.

A alimentação do circuito foi feita com fonte externa de 5 V DC, conectada ao pino VIN do ESP32 e ao módulo conversor, em substituição à alimentação exclusiva via USB. Essa opção assegurou maior estabilidade de tensão durante experimentos prolongados, reduzindo oscilações que poderiam comprometer a consistência das leituras.

O conjunto final foi montado em caixa plástica de proteção, assegurando segurança elétrica e melhor organização dos cabos. Para facilitar manutenção e substituições rápidas, os sensores foram acoplados a conectores removíveis. A arquitetura final do sistema, incluindo a disposição dos componentes e o fluxo de dados, é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Arquitetura do sistema TMDS e fluxo de dados.



Fonte: Produzida pelo próprio autor

O firmware foi escrito no Arduino IDE, utilizando bibliotecas específicas para leitura do sensor (MAX6675.h), comunicação serial (SPI.h) e conectividade Wi-Fi (WiFi.h). O código foi estruturado em três rotinas principais. Uma para aquisição e temperatura, com resolução de 0,25 °C. Outra para formatação dos dados em texto do tipo “tempo;temperatura”, garantindo compatibilidade com softwares de análise científica. E por fim, uma rotina de armazenamento e transmissão, que envia os dados formatados a um servidor local via protocolo HTTP POST.

Para assegurar a rastreabilidade, a sincronização temporal foi feita por meio de servidores NTP (*Network Time Protocol*), permitindo associar cada leitura a um *timestamp* confiável. O ESP32 foi configurado com endereço IP fixo, simplificando a comunicação com o servidor interno. Esse servidor, programado em C++, recebeu as requisições POST, processou as informações e armazenou os arquivos em diretórios organizados cronologicamente, garantindo redundância e padronização no arquivamento.

Os parâmetros do sistema foram ajustados para equilibrar resolução temporal e capacidade de armazenamento. O intervalo de amostragem de 250 ms mostrou-se adequado para acompanhar variações rápidas de temperatura sem sobrecarregar a memória. O aparato foi projetado para operar de forma contínua por mais de seis horas, atendendo às demandas típicas de experimentos de tratamentos térmicos, estudos cinéticos e análises de recozimento.

O aparato foi testado em ambiente de laboratório, em condições de temperatura ambiente de 25 °C e rede Wi-Fi dedicada de 2,4 GHz. O cabeamento AWG 22, de baixa resistência, e a fixação rígida dos componentes na caixa de proteção asseguraram estabilidade elétrica e confiabilidade operacional.

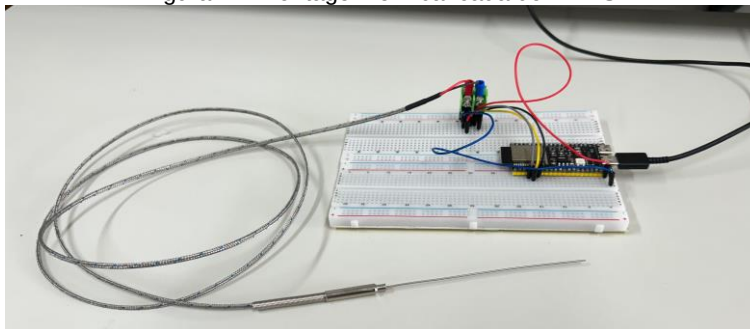
A metodologia adotada possibilitou a construção de um sistema simples, modular e reprodutível, com detalhamento suficiente para replicação em outros laboratórios de ciência dos materiais. A descrição abrangente da montagem, da programação e dos parâmetros de operação permite que o TMDS seja adaptado a diferentes contextos, promovendo a democratização da instrumentação científica acessível.

Resultados e Discussão

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

A Figura 2 apresenta a montagem do TMDS em bancada, evidenciando a conexão entre o microcontrolador ESP32, o módulo conversor MAX6675 e o termopar tipo K. Essa configuração demonstra a arquitetura essencial do aparato, composta por três elementos centrais: (i) o sensor de temperatura, responsável por capturar os sinais térmicos; (ii) o conversor, responsável por digitalizar o sinal do termopar; e (iii) o microcontrolador, encarregado de processar, armazenar e transmitir as informações.

Figura 2 – Montagem em bancada do TMDS.



Fonte: registrada pelo próprio autor

O arranjo adotado destaca-se pela clareza das interligações, fator que facilita tanto a replicação do sistema por outros grupos de pesquisa quanto a manutenção de cada módulo de forma independente. A utilização de cabos removíveis e protoboard na fase inicial de desenvolvimento reforça a natureza modular do aparato, permitindo substituições rápidas e ajustes futuros. A disposição compacta dos componentes também evidencia a viabilidade de encapsulamento em gabinetes de proteção para uso contínuo em laboratório.

Uma das contribuições mais relevantes do TMDS é a organização automatizada dos dados de temperatura em arquivos de texto simples, gravados de forma contínua ao longo do experimento. A Figura 3 exemplifica um arquivo .txt gerado pelo sistema, no qual cada linha contém duas informações principais: o *timestamp*, obtido via sincronização com servidores NTP, e a temperatura correspondente medida pelo termopar.

Figura 3 – Exemplo de arquivo .txt gerado pelo sistema.

```
1697345 ms -> Temperatura: 393.50 °C
1697356 ms -> Temperatura: 391.75 °C
1697347 ms -> Temperatura: 393.25 °C
1697348 ms -> Temperatura: 392.25 °C
1697349 ms -> Temperatura: 392.25 °C
1697350 ms -> Temperatura: 392.00 °C
1697351 ms -> Temperatura: 391.75 °C
1697352 ms -> Temperatura: 392.25 °C
```

Fonte: registrado pelo próprio autor

O formato escolhido, estruturado em colunas separadas por ponto e vírgula (tempo;temperatura), permite compatibilidade imediata com softwares amplamente utilizados, como Microsoft Excel, Google Sheets e linguagens de programação científica, como Python e R. Essa escolha contribui para a acessibilidade do aparato, uma vez que elimina a dependência de softwares proprietários ou protocolos complexos de leitura.

Além disso, o sistema foi configurado para criar automaticamente os nomes dos arquivos, seguindo o padrão AAAAMMDD_HHMM.txt, o que garante rastreabilidade e organização cronológica dos

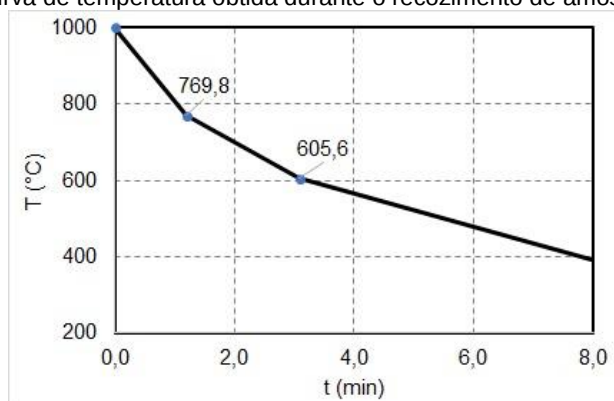
A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

experimentos. Essa funcionalidade simplifica o gerenciamento de grandes volumes de dados, permitindo que diferentes experimentos sejam facilmente identificados e arquivados.

O protocolo de comunicação adotado foi o HTTP POST, no qual cada pacote de dados é enviado ao servidor em tempo real. O servidor, previamente configurado com endereço IP fixo, recebe os registros, processa-os e os armazena em diretórios organizados por data. Essa arquitetura distribuída confere ao sistema escalabilidade, uma vez que múltiplos módulos TMDS podem ser conectados simultaneamente a um mesmo servidor, ampliando as possibilidades de monitoramento em diferentes pontos de um laboratório ou em experimentos distintos.

A Figura 4 apresenta a curva de temperatura obtida após o tratamento dos dados coletados pelo TMDS, comprovando a eficácia da coleta de dados através a leitura no termopar e o armazenamento dos mesmos no servidor local.

Figura 4 – Curva de temperatura obtida durante o recozimento de amostras metálicas.



Fonte: Registrada pelo próprio autor

Outro aspecto importante é a redundância implementada pelo aparato: além da transmissão contínua ao servidor, os dados também são armazenados localmente no ESP32, em arquivos de texto. Essa duplicidade garante maior segurança da informação, reduzindo o risco de perdas em caso de falhas temporárias de rede. Assim, o sistema equilibra praticidade de uso e confiabilidade no registro das variáveis térmicas.

Os resultados obtidos demonstram que o TMDS cumpre sua proposta de fornecer uma solução compacta, modular e de baixo custo para monitoramento de temperatura em experimentos laboratoriais. A simplicidade da montagem, aliada ao formato acessível dos dados, torna o sistema particularmente adequado para ambientes de ensino e pesquisa aplicada.

Outro ponto de destaque é a possibilidade de expansão. A estrutura aberta do firmware, desenvolvida na plataforma Arduino IDE, permite que novas funcionalidades sejam adicionadas de forma incremental, como integração com dashboards gráficos online, uso de múltiplos sensores ou implementação de algoritmos de controle em tempo real. A modularidade do hardware também favorece substituições pontuais de componentes, garantindo maior longevidade ao aparato.

Além disso, o aparato foi projetado para operar continuamente em experimentos de média e longa duração, garantindo rastreabilidade completa do perfil térmico. Isso possibilita aplicações em contextos que demandam coleta sistemática de dados, como estudos de transformações de fase em metais, monitoramento de fornos de laboratório e acompanhamento de processos de degradação térmica.

A análise conjunta das figuras e da arquitetura apresentada demonstra que o TMDS é capaz de registrar, processar e organizar dados térmicos de forma simples, confiável e acessível. A montagem em bancada evidencia sua modularidade; o formato dos arquivos comprova sua acessibilidade; e o fluxo de dados até o servidor local demonstra sua escalabilidade. Esses elementos, quando integrados, constituem um aparato que atende de forma direta às demandas de instrumentação científica acessível em laboratórios de ciência dos materiais.

Conclusão

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

O *Temperature Monitoring and Data System* (TMDS) foi concebido como uma solução modular e de baixo custo para aquisição de dados térmicos em contextos laboratoriais. O aparato foi estruturado a partir da integração entre o microcontrolador ESP32, o termopar tipo K e o módulo conversor MAX6675, aliados a um firmware customizado desenvolvido na plataforma Arduino IDE. Essa combinação permitiu a implementação de um sistema de aquisição contínua de temperatura, com armazenamento local em arquivos de texto e transmissão simultânea para um servidor interno por meio de conectividade Wi-Fi.

Os resultados demonstraram que o TMDS é capaz de organizar os registros de forma simples e acessível, compatíveis com softwares de análise amplamente utilizados. As figuras apresentadas ilustraram a montagem do sistema em bancada, a estrutura típica de um arquivo de saída e o fluxo de dados até o armazenamento no servidor local. Esses elementos evidenciam a funcionalidade e a escalabilidade do aparato, permitindo a replicação em diferentes ambientes de pesquisa e ensino.

Outro aspecto relevante do sistema é sua natureza aberta e expansível, que possibilita ajustes de hardware e firmware conforme a necessidade do usuário. A modularidade garante que novos sensores, interfaces ou algoritmos possam ser integrados, ampliando o campo de aplicação para diferentes processos laboratoriais que demandem monitoramento térmico contínuo e rastreável.

Dessa forma, conclui-se que o TMDS cumpre seu objetivo de fornecer uma alternativa técnica e economicamente viável para instrumentação científica em ciência dos materiais. Ao reunir simplicidade, robustez e adaptabilidade, o aparato contribui para a democratização do acesso a tecnologias de monitoramento térmico digital em contextos educacionais e de pesquisa aplicada.

Referências

ESP32-S3-WROOM-1 ESP32-S3-WROOM-1U Datasheet 2.4 GHz Wi-Fi (802.11 b/g/n) and Bluetooth® 5 (LE) module Built around ESP32-S3 series of SoCs, Xtensa® dual-core 32-bit LX7 microprocessor Flash up to 16 MB, PSRAM up to 8 MB 36 GPIOs, rich set of peripherals On-board PCB antenna. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3-wroom-1_wroom-1u_datasheet_en.pdf>.

KALAMARAS, Sotirios D.; TSITSIMPIKOU, Maria-Athina; TZENOS, Christos A.; LITHOURGIDIS, Antonios A.; PITSIKOGLOU, Dimitra S.; KOTSOPOULOS, Thomas A. A Low-Cost IoT System Based on the ESP32 Microcontroller for Efficient Monitoring of a Pilot Anaerobic Biogas Reactor. **Applied Sciences**, v. 15, n. 1, p. 34, 2025. DOI: 10.3390/app15010034.

PUTRI, Pinasthika; SARAGI, Mechelle Angela; HASIBUAN, Yudha Anggia El Hakim; SIHOMBING, Zihan Refani; ARYZA, Solly. A Prototype IoT Temperature And Humidity Monitoring Esp32 Based Via Thing Speak. **INFOKUM**, v. 13, n. 01, p. 43–51, 2025.

SANTOS, Carlos Renato Borges Dos. Análise do comportamento térmico de módulos ESP32 utilizando o ESP-NOW e modo Sleep. **ForScience**, v. 13, n. 2, p. e01331–e01331, 2025. DOI: 10.29069/forscience.2025v13n2.e1331.

ROSA, A. **Plataforma IoT para monitoramento de laboratórios e experimentos**. 2022. 97 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação, 2022.

SEPTIANA, R.; ROIHAN, I.; KARNADI, J., **Calibration of K-Type Thermocouple and MAX6675 Module With Reference DS18B20 Thermistor Based on Arduino DAQ**. Pros. SNTTM XVIII, p. 9–10, 2019.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) – Termo de Outorga nº 1223/2024 e do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).