

*“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”***DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA TRATAMENTO DE DADOS GERADOS PELOS EXPERIMENTOS DO LABORATÓRIO REMOTO DE FÍSICA**Deivid Esp. S. de Souza¹ (IC), Thiago Costa Caetano(PQ)¹¹Universidade Federal de Itajubá.**Palavras-chave:** Ensino de Física. Laboratório Remoto. Microcontrolador. Ondas Estacionárias. Sistema Híbrido.**Introdução**

O ensino de ciências, em particular da física experimental, enfrenta o desafio contínuo de aliar a fundamentação teórica à prática laboratorial de forma acessível e engajadora (Hodson 1996; Arruda and Laburú 1996). Neste contexto, laboratórios de acesso remoto e sistemas de ensino híbridos emergiram como soluções tecnológicas vitais, capazes de transpor barreiras geográficas e otimizar o uso de recursos didáticos (Alves et al. 2018). Este trabalho se insere nessa vertente ao apresentar a evolução de um experimento de ondas estacionárias, cuja versão original (Caetano et al. 2022), era voltada exclusivamente para o uso a distância. A limitação de uma única modalidade de acesso, contudo, restringia seu uso em cenários pedagógicos que demandam a interação física direta com o aparato, um aspecto importante na construção do conhecimento científico.

Inicialmente, a pesquisa visava o desenvolvimento de ferramentas computacionais para o tratamento de dados gerados pelos experimentos do Laboratório Remoto de Física. No entanto, ao iniciar os trabalhos, identificou-se que a versão original do experimento precisava ser aprimorada para que o tratamento de dados fosse eficiente, o que direcionou o foco deste estudo para a melhoria e a conversão do aparato para um modelo híbrido. O objetivo principal desta pesquisa é, portanto, apresentar o desenvolvimento e a validação de uma nova versão híbrida deste experimento, projetada para permitir tanto a operação remota via internet quanto o controle presencial direto. Como objetivos específicos, buscou-se: (1) redesenhar a estrutura mecânica para garantir maior precisão e segurança no controle da tensão da corda e na visualização do fenômeno; (2) implementar um sistema eletrônico unificado, baseado em microcontrolador, capaz de gerenciar todos os atuadores e sensores de forma robusta; e (3) desenvolver uma plataforma

computacional modular que integra o hardware a uma interface de usuário intuitiva.

A justificativa para tal empreendimento fundamenta-se na necessidade de criar ferramentas educacionais mais flexíveis e potentes. A nova arquitetura híbrida possibilita uma precisão aprimorada, essencial para análises quantitativas rigorosas da relação entre frequência, tensão, densidade linear e comprimento de onda, conforme descrito pela teoria física fundamental (Resnick et al. 2003). Adicionalmente, o projeto foi concebido com foco em escalabilidade e flexibilidade, ampliando o potencial do experimento para diversas aplicações. A modalidade híbrida enriquece o ensino no próprio laboratório, permitindo que alunos da universidade, em visita ou em aulas práticas, possam operar o equipamento tanto de forma presencial, com interação direta, quanto remotamente a partir de terminais, adaptando-se a diferentes propostas pedagógicas.

Metodologia

A concretização do sistema híbrido seguiu uma metodologia de desenvolvimento sequencial e rigorosa, projetada para gerenciar a complexidade inerente à integração de diferentes áreas do conhecimento. O processo foi conduzido de forma iterativa, com cada pilar sendo aprimorado em ciclos de prototipagem e validação. Essa abordagem sistemática garantiu que o desenvolvimento de um componente estivesse em sintonia com os demais, minimizando incompatibilidades e otimizando o desempenho geral do sistema. A metodologia, portanto, foi dividida em três pilares interdependentes: mecânica, eletrônica embarcada e arquitetura de software. A Figura 1 apresenta uma representação esquemática geral do sistema, ilustrando a interação entre os componentes físicos, os modos de controle e os usuários.

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

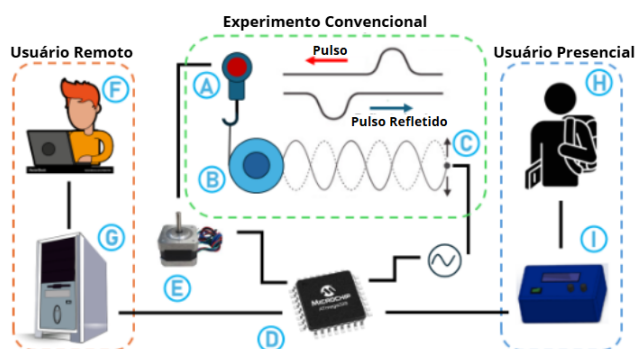


Figura 1 – Representação esquemática do experimento híbrido de ondas estacionárias. A área destacada como “experimento convencional” corresponde ao aparato físico tradicional, composto por: (A) dinamômetro, (B) polia e (C) oscilador mecânico. A infraestrutura de controle remoto inclui: (D) circuito de controle eletrônico (ATmega328P), (E) motor de passo, (F) usuário remoto e (G) servidor. O modelo híbrido adiciona a operação local por meio de: (H) usuário presencial e (I) interface física.

Estrutura Mecânica: A base do experimento foi redesenhada para maximizar a precisão e a segurança. O controle de tensão na corda foi substituído por um sistema de acionamento com fuso de avanço, movido por um motor de passo. Este mecanismo, análogo aos utilizados em impressoras 3D e fabricado com diversas peças impressas em PLA, elimina folgas (*backlash*) e permite um deslocamento vertical suave e milimétrico do dinamômetro. Para a visualização do fenômeno, implementou-se um sistema dual-câmera. A primeira câmera foi fixada em um braço de suporte solidário ao dinamômetro, garantindo que o ponto de medição da tensão esteja sempre em foco. A segunda câmera foi montada sobre um carrinho móvel que percorre um trilho ao longo de toda a mesa experimental, permitindo que o usuário inspecione em detalhe qualquer nó ou antinó ao longo da escala numérica de fundo. Para garantir a operação segura e autônoma, ambos os sistemas móveis (tensionador e carrinho da câmera) foram equipados com interruptores de limite (chaves de fim de curso) que definem os limites máximo e mínimo de deslocamento, prevenindo danos ao equipamento.

Implementação Eletrônica: O cérebro do sistema foi redesenhado para uma arquitetura de processamento distribuído, utilizando três microcontroladores ATmega328P que se comunicam

através da biblioteca I2C. Essa abordagem otimiza o processamento ao criar blocos de tarefas dedicadas, evitando a sobrecarga de um único processador. A hierarquia consiste em um microcontrolador Master e dois Slaves, conforme ilustrado na Figura 2. O Master é responsável por receber dados do servidor, controlar os motores de passo e os fins de curso, e gerenciar a comunicação com os Slaves. O Slave 1 dedica-se exclusivamente à geração da frequência da onda, operando um amplificador de áudio TDA2030 para excitar o oscilador mecânico com precisão. O Slave 2 funciona como o cérebro da caixa de controle de bancada para a utilização presencial, lendo os parâmetros definidos pelo usuário através de chaves e potenciômetros e enviando-os ao Master.

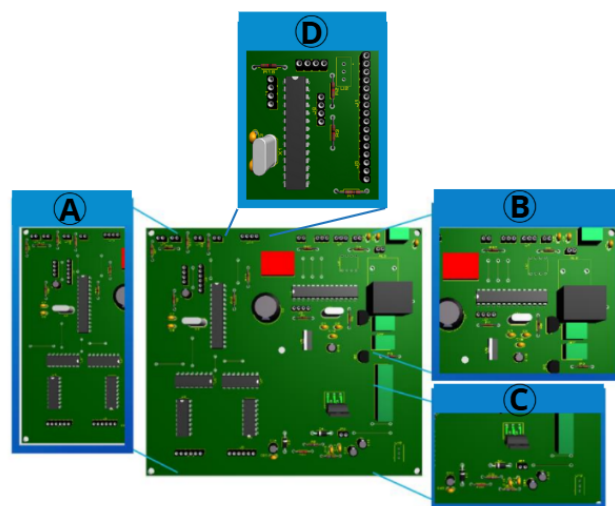


Figura 2 – A eletrônica do sistema. (A) um microcontrolador Master, o cérebro do sistema, responsável por receber todos os comandos e gerenciar a comunicação; (B) um Slave 1, com a tarefa dedicada de gerar com precisão a frequência da onda; (C) um amplificador, que potencializa o sinal do Slave 1 para acionar o oscilador mecânico; e (D) um Slave 2, que funciona como o cérebro da caixa de controle presencial, lendo os inputs do usuário e enviando-os ao Master.

Desenvolvimento Computacional: A plataforma de software foi arquitetada em três camadas, cujo fluxo de interação é detalhado na Figura 3. A arquitetura foi projetada especificamente para gerenciar a dualidade de controle do sistema híbrido. A primeira camada é o firmware, distribuído entre os três microcontroladores. O código do Master implementa uma lógica de

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

priorização, tratando tanto os comandos recebidos do servidor via porta serial (operação remota) quanto os parâmetros enviados pelo Slave 2 via I2C (operação presencial). Essa gestão centralizada garante que não haja conflitos e que a transição entre os modos seja transparente.

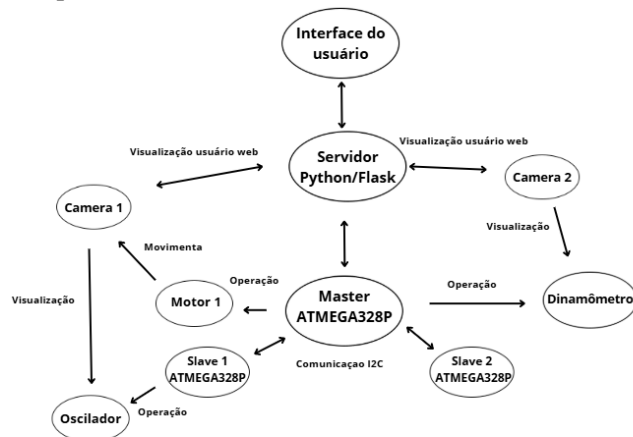


Figura 3 – Fluxograma da arquitetura computacional. O fluxo de comando (iniciado pelo usuário) e o de feedback (retorno do hardware) são gerenciados pelo servidor. O streaming de vídeo opera em um processo paralelo para garantir a transmissão em tempo real.

Como medida de segurança para garantir um único usuário por vez, o software implementa um sistema de bloqueio mútuo: quando o sistema detecta atividade na interface presencial, o back-end é notificado e restringe o acesso de novos usuários remotos, exibindo uma mensagem de "experimento em uso". Inversamente, quando uma sessão remota está ativa, o firmware do Master ignora os comandos vindos da interface presencial, garantindo a integridade da operação. A segunda camada é o back-end, um servidor em Python (Flask) que serve como ponte para o modo remoto. A terceira camada é o front-end, a interface web com a qual o usuário interage, compensando a ausência de feedback sensorial no acesso remoto com um log detalhado de eventos (Poliakov et al. 2017).

Resultados e discussão

O principal resultado desta pesquisa é a implementação e validação de um sistema experimental híbrido plenamente funcional, capaz de ser operado de forma transparente tanto presencialmente quanto de modo remoto. Os testes de operação demonstraram que

a alternância entre o controle local (via caixa de controle física) e o controle remoto (via interface web) ocorre sem instabilidade, consolidando a viabilidade da arquitetura proposta.

O sucesso deste modelo híbrido é sustentado por um conjunto de resultados tecnológicos que garantem seu desempenho e confiabilidade em ambas as modalidades. A robustez do sistema é assegurada pela arquitetura eletrônica de processamento distribuído (Master-Slave), que dedica microcontroladores a tarefas específicas, garantindo uma operação estável e responsiva. A precisão, crucial tanto para o usuário local quanto para o remoto, foi alcançada com o uso do mecanismo de fuso e validada pela capacidade de coletar dados de alta qualidade, que permitem a verificação da equação de Taylor com baixo erro experimental (Resnick et al. 2003). A visualização detalhada, fornecida pelo sistema de câmera dupla, é um resultado que enriquece a experiência em ambos os modos de uso, conforme detalhado na Figura 4.

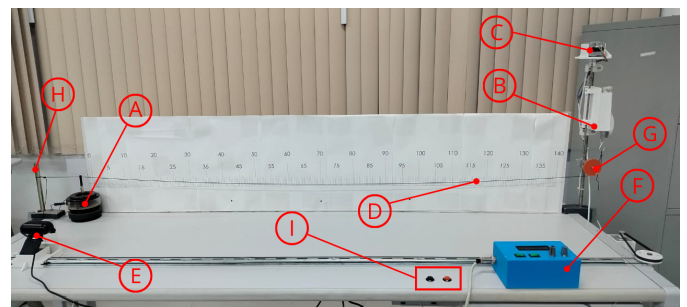


Figura 4 – O aparato experimental utiliza um oscilador mecânico (A) para gerar ondas em uma corda (D). A tensão na corda é ajustada com precisão por um dinamômetro (B), acionado por um motor de passo (C). Câmeras (E) permitem a visualização remota de todo o processo. O avanço deste modelo é sua interface presencial, uma caixa de controle (F) que permite o ajuste local de frequência e tensão, com feedback imediato em um display LCD. Interruptores de segurança e botões de controle (I) garantem a operação prática e a alternância segura entre os modos de uso, consolidando a natureza híbrida do sistema.

A discussão sobre este trabalho foca, portanto, no impacto e na flexibilidade que o modelo híbrido proporciona ao ensino de física. O resultado transcende o equipamento em si, apresentando uma solução pedagógica versátil. Em um mesmo laboratório, o

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

sistema permite que um grupo de alunos realize a atividade de forma tátil e presencial, enquanto outro grupo, na mesma sala ou a quilômetros de distância, opera o mesmo experimento remotamente. Essa dualidade otimiza o uso da infraestrutura do laboratório e abre novas possibilidades para metodologias de ensino, como a aprendizagem baseada em projetos e a comparação de dados coletados por diferentes métodos de interação. O sistema híbrido, portanto, representa um avanço significativo na criação de ambientes de aprendizagem mais inclusivos, adaptáveis e alinhados às novas demandas da educação em ciências (Araújo and Abib 2003).

Conclusões

A pesquisa conclui que o desenvolvimento de um sistema experimental híbrido para o estudo de ondas estacionárias foi bem-sucedido e validado, demonstrando sua capacidade de operação transparente tanto em modo presencial quanto remoto. A arquitetura tecnológica proposta, baseada em processamento distribuído, controle mecânico de alta precisão e uma plataforma de software modular, assegurou a robustez e a confiabilidade do sistema. O principal avanço deste modelo é sua contribuição pedagógica, oferecendo maior flexibilidade para o ensino de física experimental, otimizando o uso da infraestrutura de laboratório e permitindo a adoção de metodologias educacionais mais inclusivas e adaptáveis às diversas necessidades de aprendizagem.

Agradecimentos

Agradeço à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo suporte institucional, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida através do programa PIBIC, que possibilitou a realização desta pesquisa. Um agradecimento especial ao Professor Thiago Costa Caetano por sua ajuda e orientação durante todo o projeto.

Referências

ALVES, Gustavo R. et al. International cooperation for remote laboratory use. In: **Contributions to Higher Engineering Education**. Singapore: Springer Singapore, 2018. p. 1-31.

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia

Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de ensino de física**, v. 25, p. 176-194, 2003.

ARRUDA, Sérgio M.; LABARÚ, Carlos E. Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. **Ciência & Educação**, v. 3, p. 14-24, 1996.

CAETANO, Thiago et al. The physics remote laboratory: Implementation of an experiment on standing waves. **European Journal of Physics**, v. 43, n. 2, p. 025801, 2022.

HODSON, Derek. Laboratory work as scientific method: Three decades of confusion and distortion. **Journal of Curriculum studies**, v. 28, n. 2, p. 115-135, 1996.

POLIAKOV, Mykhailo; HENKE, Karsten; WUTTKE, Heinz-Dietrich. The augmented functionality of the physical models of objects of study for remote laboratories. In: **Online Engineering & Internet of Things: Proceedings of the 14th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV 2017, held 15-17 March 2017, Columbia University, New York, USA**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 151-159.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; KRANE, K. **Física**. v. 2. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. ISBN 9788521613688. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=XYlgPgAACAAJ>. Acesso em: 20 ago. 2025.