

Técnico em Eletroeletrônica

Desenvolvimento de um Miliohmímetro

Murilo Almeida Padilha¹

Victor Neris²

Sidinei Augusto Guedes Borges³

Resumo: Este projeto tem a finalidade de auxiliar técnicos em reparos eletrônicos na localização de anomalias em placas de circuito impresso por meio de medições de baixas resistências. Essas medições são aprimoradas pela técnica de quatro pontas de Kelvin, que consiste na aplicação de uma corrente fixa para observar a queda de tensão sobre cada componente testado. O protótipo desenvolvido utiliza um regulador de tensão LM317 para gerar uma corrente constante de aproximadamente 104 mA, um conversor analógico-digital ADS1115 de 16 bits para a leitura de alta resolução da queda de tensão, e um microcontrolador ESP32 responsável pelo processamento dos dados e pela exibição dos resultados em um display. Os testes preliminares de validação, realizados com resistores de valor conhecido, indicaram concordância entre o valor nominal do componente e o valor medido pelo protótipo.

Palavras-chave: Eletrônica, IoT, localização de curto-circuito.

Abstract: This project aims to assist electronics repair technicians in locating faults on printed circuit boards through low-resistance measurements, which are enhanced by the Kelvin four-terminal sensing technique. This method consists of applying a fixed current to measure the voltage drop across each component under test. The prototype uses an LM317 voltage regulator to generate a constant current of approximately 104 mA, a 16-bit ADS1115 analog-to-digital converter for high-resolution voltage readings, and an ESP32 microcontroller responsible for data processing and result display. Preliminary validation tests, performed with known-value resistors, indicated agreement between the nominal component value and the value measured by the prototype.

Keywords: Electronics, IoT, short-circuit detection.

1 INTRODUÇÃO

Na área da eletrônica, existem diversas metodologias para medir e analisar anomalias em placas de circuito impresso. Entre esses métodos, destacam-se a análise de tensão, as medições de trilha a trilha, a verificação de resistências

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

conhecidas e a inspeção visual de componentes em busca de avarias físicas. Há também abordagens mais técnicas, como a análise de esquemas elétricos ou a utilização de softwares de *board view* com informações integradas de cada componente. Contudo, um método que vem ganhando destaque é a utilização de medições de baixas resistências, na faixa de miliohms.

Com base nesse conceito, este projeto tem o objetivo de desenvolver um protótipo de miliohmímetro utilizando o método de Kelvin. A técnica consiste na injeção de uma corrente elétrica fixa e conhecida sobre o componente a ser medido, ocasionando uma queda de tensão que, por meio da Primeira Lei de Ohm, permite o cálculo da resistência através da equação 1

$$R = V/I \quad (1)$$

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Método de Quatro Pontas (Ponte de Kelvin)

A ponta de Kelvin, também denominada método das quatro pontas ou método de quatro fios, é um arranjo de circuito amplamente utilizado em projetos que exigem medições precisas de resistências de baixo valor. Sua finalidade central é eliminar uma fonte de erro que, em medições convencionais de dois fios, torna-se proporcionalmente mais significativa quanto menor for a resistência a ser medida: a resistência elétrica dos próprios cabos e das conexões de contato entre a ponta de prova e o componente sob teste (Brites, 2021).

Em uma medição tradicional de dois fios, o mesmo par de condutores é responsável por conduzir a corrente de teste até o componente e por conduzir o sinal de tensão de volta ao instrumento de medição. Como consequência, a resistência dos próprios fios e dos pontos de contato soma-se à resistência do componente medido, distorcendo o resultado. Esse efeito é desprezível quando se mede um resistor de centenas de ohms, mas torna-se proporcionalmente grave quando o componente sob teste possui apenas alguns miliohms — situação em que a resistência do cabo de medição pode ser maior do que a própria grandeza que se deseja medir (Oliveira; Santos, 2019).

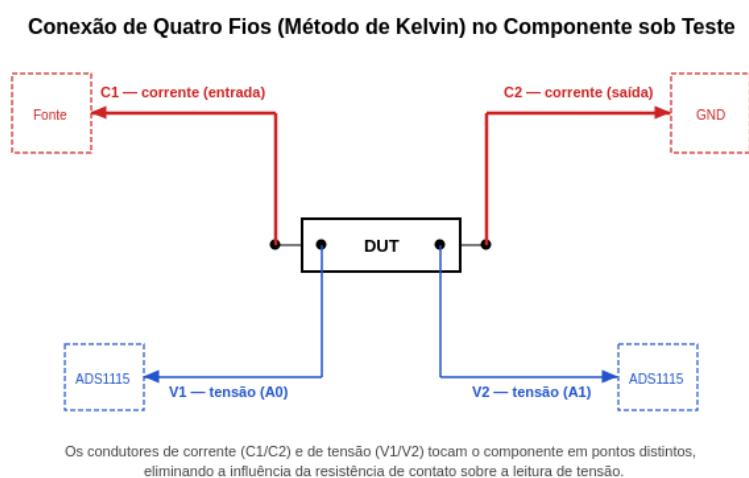
O método de Kelvin resolve esse problema separando fisicamente as funções de condução de corrente e de leitura de tensão em quatro terminais distintos, comumente identificados como C1, C2, P1 e P2 (ou, na nomenclatura adotada neste trabalho,

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

C1/C2 para corrente e V1/V2 para tensão). Os terminais C1 e C2 conduzem a corrente elétrica controlada através do componente sob teste, enquanto os terminais P1 e P2, conectados em pontos distintos e o mais próximo possível do componente, são utilizados exclusivamente para a leitura da queda de tensão. Como praticamente nenhuma corrente circula pelos condutores de tensão — a impedância de entrada do circuito de leitura é elevada —, a queda de tensão nesses fios é desprezível, e o instrumento passa a medir quase exclusivamente a resistência do componente em si, e não a resistência do sistema de medição (Brites, 2021).

No protótipo desenvolvido neste trabalho, esse princípio foi aplicado por meio de uma fonte de corrente constante, responsável por injetar a corrente de teste através dos terminais de corrente, e de um conversor analógico-digital de alta resolução, responsável por captar a queda de tensão nos terminais de medição independentes. Essa configuração está descrita em detalhe na Seção 3 (Desenvolvimento).

Figura 1 – Conexão de quatro fios (método de Kelvin) aplicada ao componente sob teste



Fonte: Autores (2026).

2.2 O Miliohmímetro como Instrumento de Diagnóstico

O miliohmímetro é um instrumento especializado, projetado para medir resistências na ordem de miliohms ($m\Omega$) com precisão que os multímetros convencionais não conseguem oferecer, dado que a resolução típica desses equipamentos em escalas de resistência baixa não é suficiente para distinguir variações da ordem de poucos miliohms (Chau; Clarke; Kyeremeh, 2021). Essa limitação é particularmente relevante na manutenção eletrônica, em que falhas de baixa resistência — como soldas frias, trilhas parcialmente rompidas, conectores

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

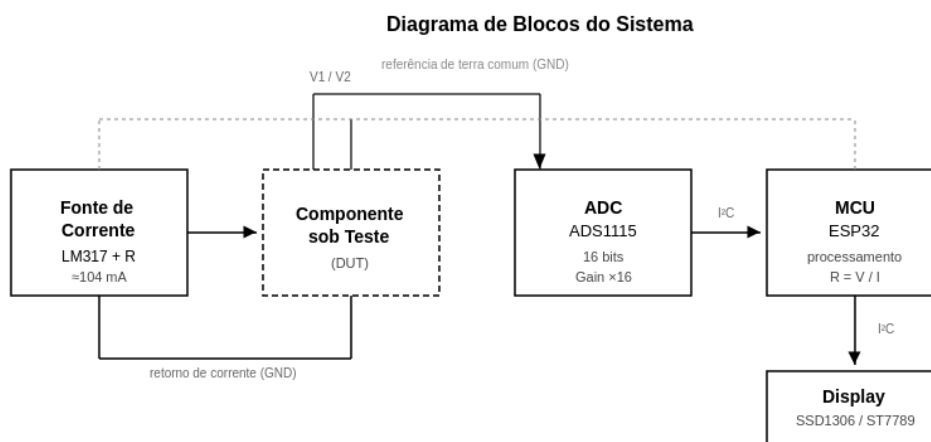
oxidados e curtos-circuitos parciais em placas de circuito impresso — frequentemente não são detectáveis por instrumentos convencionais (Pereira, 2021).

A capacidade de localizar curtos-circuitos em placas lógicas por meio da medição de queda de tensão ao longo das trilhas é uma das aplicações mais relevantes desse tipo de instrumento, pois permite ao técnico identificar com rapidez o ponto exato da falha sem a necessidade de remoção sequencial de componentes — processo tradicionalmente demorado e que pode danificar a placa (Moura; Lima, 2022).

3 DESENVOLVIMENTO

Para a concepção deste protótipo, o sistema foi dividido em etapas funcionais. A primeira consiste na criação de uma fonte de corrente fixa, desenvolvida a partir de um regulador de tensão LM317 alimentado por 9 volts. A este componente, é associado um resistor de 12,5 ohms conectado entre o terminal de ajuste e a saída, estabelecendo uma corrente regulada próxima a 100 miliamperes (mA).

Figura 2 – Diagrama de blocos do sistema

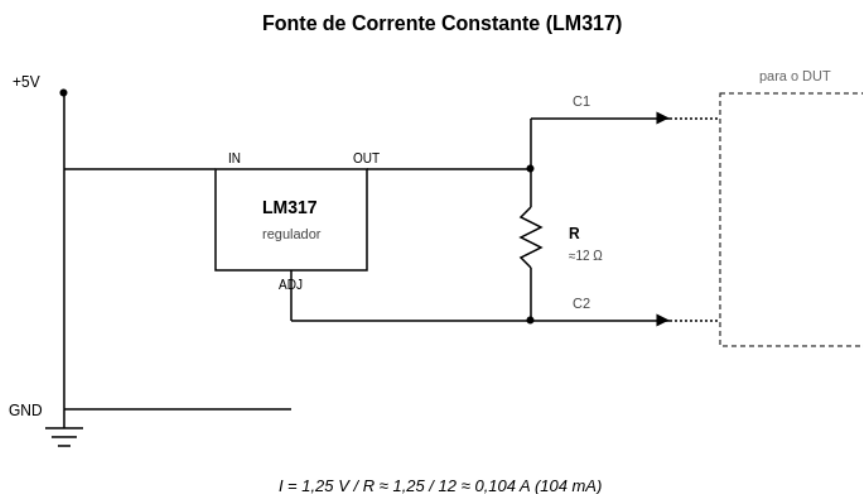


Fonte: Autores (2026).

A próxima etapa envolve as pontas de prova, que recebem um par de cabos provenientes da fonte regulada. Em seguida, encontra-se a seção lógica do sistema, responsável por captar o sinal analógico oriundo das pontas de prova e direcioná-lo ao conversor analógico-digital (ADC) ADS1115. Após a conversão, os dados são transmitidos digitalmente ao microcontrolador ESP32. Este componente atua como a unidade de processamento central, sendo encarregado de receber os dados, aplicar a lógica de conversão matemática e exibir as informações finais ao usuário por meio de um display digital.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

Figura 3 – Esquemático da fonte de corrente constante baseada no LM317



Fonte: Autores (2026).

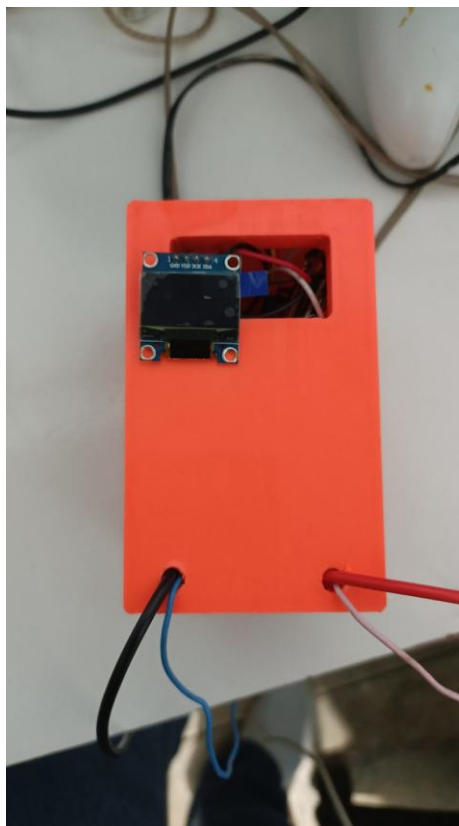
O ADS1115 foi configurado com ganho programável ajustado para a faixa de $\pm 256 \text{ mV}$ (configuração denominada GAIN_SIXTEEN), o que proporciona resolução de $0,0078125 \text{ mV}$ por bit, adequada para a leitura de quedas de tensão da ordem de poucos milivolts geradas por resistências de baixo valor sob a corrente de teste injetada. A comunicação entre o ADS1115 e o ESP32 foi estabelecida em um barramento I²C dedicado, separado do barramento utilizado pelo display, de modo a evitar interferência entre os dois periféricos.

O firmware embarcado no ESP32 foi desenvolvido na plataforma Arduino e incorpora três mecanismos de tratamento de sinal voltados à redução de erro de medição. O primeiro é uma rotina de calibração automática executada na inicialização do equipamento: antes de qualquer leitura, o sistema realiza 200 amostragens com as pontas de prova em curto-circuito (ou em circuito aberto) e armazena o valor médio resultante como um offset de referência, que é subtraído de todas as leituras subsequentes, eliminando o erro sistemático inerente ao próprio conversor analógico-digital. O segundo mecanismo consiste na aquisição de 32 amostras por ciclo de leitura, das quais as quatro maiores e as quatro menores são descartadas antes do cálculo da média — uma forma de filtragem que reduz a influência de picos de ruído eletromagnético sobre o resultado final. O terceiro mecanismo é um filtro de estabilidade baseado em uma janela deslizante das últimas oito leituras, que permite ao firmware sinalizar ao usuário, por meio do display, quando a medição atingiu um estado estável, evitando a leitura prematura de um valor ainda em transição.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

As pontas de prova utilizadas no protótipo foram confeccionadas a partir de pontas de multímetro convencionais, adaptadas para aproximar o funcionamento ao princípio de Kelvin: o condutor responsável pela leitura de tensão foi soldado diretamente à base metálica da ponta de prova (próximo à empunhadura), em um ponto eletricamente distinto daquele em que a corrente de teste é injetada na extremidade da ponta. Essa separação física entre os pontos de condução de corrente e de leitura de tensão, embora não constitua uma pinça Kelvin dedicada, reduz significativamente a influência da resistência de contato sobre a medição quando comparada a uma configuração de dois fios convencional, sendo adequada para a medição de componentes com resistência superior a poucos miliohms.

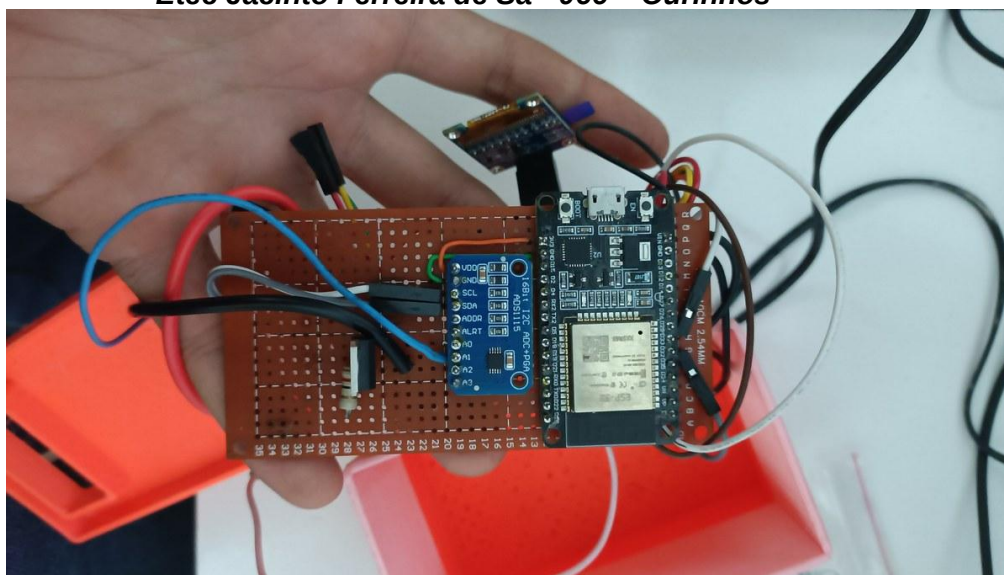
Figura 4 – Protótipo finalizado com carcaça impressa em 3D



Fonte: Autores (2026).

Figura 5 – Interior do protótipo: ESP32 e ADS1115 montados em placa padrão

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos



Fonte: Autores (2026).

Figura 6 – Display OLED exibindo medição de 1508,1 mΩ com indicador ESTÁVEL



Fonte: Autores (2026).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o protótipo montado e o firmware de calibração automática em operação, foi conduzido um teste preliminar de validação utilizando um resistor de precisão de

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

valor nominal conhecido. O componente, com resistência nominal de $0,65 \Omega$ ($650 \text{ m}\Omega$), foi conectado às pontas de prova do instrumento, e a leitura exibida no display correspondeu exatamente ao valor nominal informado pelo fabricante do componente, evidenciando a coerência do princípio de medição implementado — a aplicação de corrente constante combinada à leitura de tensão de alta resolução — com o valor de referência esperado.

Esse resultado preliminar, embora limitado a um único ponto de medição, é relevante por validar simultaneamente dois aspectos do projeto: a precisão do valor de corrente de injeção considerado no cálculo da resistência (Equação 1) e a eficácia da rotina de calibração de offset executada na inicialização do equipamento, que elimina o erro sistemático do conversor analógico-digital antes de cada sessão de medição.

Um segundo teste foi realizado com um resistor de maior valor nominal, pertencente ao lote identificado como "1R5" ($1,5 \Omega$ nominal). O protótipo exibiu o valor de $1508,1 \text{ m}\Omega$ (equivalente a $1,5081 \Omega$), com tensão medida de $156,045 \text{ mV}$ sob corrente de 104 mA , e o firmware sinalizou o estado "ESTÁVEL" no display, confirmando que a janela deslizante de oito leituras apresentava variação inferior ao limiar configurado de $3 \text{ m}\Omega$. Esses dois resultados — $650 \text{ m}\Omega$ e $1508,1 \text{ m}\Omega$ — cobrem faixas distintas dentro da escala do instrumento e evidenciam a coerência das leituras com os valores nominais dos componentes testados, o que reforça a validade da abordagem implementada.

Cabe destacar que a etapa de testes é considerada essencial para a validação de qualquer instrumento de medição, sendo recomendável a ampliação do número de amostras testadas — incluindo resistores de valores distintos dentro da faixa de operação do equipamento (0 a $2.400 \text{ m}\Omega$), bem como componentes reais como fusíveis, trilhas de placa de circuito impresso e conexões de bateria — de modo a caracterizar de forma mais abrangente a exatidão e a repetibilidade do protótipo em diferentes cenários de uso (Ramirez; Gonzalez; Pérez, 2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um protótipo de miliohmímetro microcontrolado, fundamentado no método de quatro pontas de Kelvin, com o objetivo

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

de oferecer a técnicos e eletricitas uma ferramenta acessível para a medição de resistências de baixo valor e a localização de falhas em placas de circuito impresso. A arquitetura proposta, composta por uma fonte de corrente constante baseada no regulador LM317, um conversor analógico-digital de alta resolução (ADS1115) e um microcontrolador ESP32 responsável pelo processamento e pela exibição dos resultados, demonstrou-se capaz de implementar o princípio de Kelvin de forma funcional, separando os caminhos de condução de corrente e de leitura de tensão para minimizar a influência da resistência dos cabos e das conexões sobre a medição.

O teste preliminar realizado com um resistor de valor nominal conhecido ($0,65 \Omega$) indicou concordância entre o valor esperado e o valor exibido pelo protótipo, resultado que reforça a viabilidade da abordagem adotada, ainda que a validação completa do instrumento dependa da ampliação do conjunto de testes para outros valores de resistência e para componentes reais de aplicação prática, como fusíveis, trilhas de PCB e conexões de bateria, conforme discutido na Seção 4.

Como propostas para trabalhos futuros, sugere-se: (i) a substituição do regulador LM317 por um sensor de corrente dedicado (como o circuito integrado INA219), de modo a medir a corrente de injeção em tempo real e eliminar o erro decorrente de sua variação com a temperatura; (ii) a confecção de pontas de prova do tipo Kelvin dedicadas, com terminais de corrente e de tensão fisicamente independentes, em substituição às pontas de multímetro adaptadas utilizadas no protótipo atual; (iii) o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso própria, com trilhas de corrente dimensionadas adequadamente, em substituição à montagem em protoboard, de modo a reduzir resistências parasitas no próprio circuito de medição; e (iv) a condução de uma campanha de testes mais ampla, com maior número de amostras e comparação sistemática com um multímetro de bancada, para a caracterização estatística da exatidão e da repetibilidade do instrumento.

Conclui-se que o instrumento desenvolvido atende à finalidade proposta de oferecer, com componentes eletrônicos de baixo custo e amplamente disponíveis, uma alternativa funcional aos miliohmímetros comerciais, contribuindo para a democratização de uma ferramenta de diagnóstico relevante para a manutenção e o reparo de equipamentos eletroeletrônicos.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

REFERÊNCIAS

ADAFRUIT INDUSTRIES. ADS1115 16-Bit ADC – 4 Channel with Programmable Gain Amplifier. Datasheet. Disponível em: <https://www.adafruit.com/product/1085>. Acesso em: 25 jun. 2026.

Brites, P. Curso de eletrônica básica com Paulo Brites. 2021. Disponível em: <https://www.paulobrites.com.br/tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-o-metodo-de-quatro-pontas-ou-metodo-de-kelvin/>. Acesso em: 20 mar. 2024.

CHAU, P. H.; CLARKE, A. J.; KYEREMEH, N. E. Design and implementation of a milliohmeter for industrial applications. Measurement Science and Technology, v. 32, n. 11, nov. 2021.

ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32 Series Datasheet. Versão 4.7. Shanghai: Espressif Systems, 2024. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 25 jun. 2026.

MOURA, F.; LIMA, A. A relevância do miliohmímetro na manutenção industrial. Engenharia e Prática, São Paulo, v. 9, n. 4, p. 89-97, out. 2022.

OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, M. F. Métodos de medição de resistências baixas: uma revisão. Journal of Electrical Engineering, v. 7, n. 2, p. 101-110, 2019.

PEREIRA, T. Miliohmímetros: aplicações na indústria. Revista Brasileira de Eletrônica, v. 15, n. 1, p. 67-74, 2021.

RAMIREZ, M. D.; GONZALEZ, J. P.; PÉREZ, S. V. Development of a high precision milliohmeter for low resistance measurements. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, v. 68, n. 4, p. 1574-1582, abr. 2019.

TEXAS INSTRUMENTS. LM317 3-Terminal Adjustable Regulator. Datasheet SNVS770F. Dallas: Texas Instruments, 2016. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2026.