SIMULADOR DE SINAL PADRÃO 4-20mA A DOIS FIOS: construção e realização de testes em parceria com a Indservice Instrumentação Industrial

STANDARD SIGNAL SIMULATOR 4-20mA TWO WIRES: construction and conducting tests in partnership with Indservice Industrial Instrumentation

Ingrid Ádila Tavares Rodrigues [I]
Alexandre Anceschi[II]
Marcelo Caetano Oliveira Alves[III]
Maria Aparecida Bovério[IV]
Valéria Aparecida Martins Ferreira[V]

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo construir e realizar testes em um instrumento de simulação de sinal 4-20mA a dois fios, desenvolvido em parceria com a empresa Indservice Instrumentação Industrial, para ensaio em instrumentação, com preço acessível, boa precisão e qualidade. Foram realizados os ensaios de medição do valor da corrente (mA)com relação a variação da tensão de alimentação no laboratório da Indservice e o teste de medição do valor da corrente (mA) em função da variação da temperatura no laboratório de análises metalográficas da Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho – SP "Deputado Waldyr Alceu Trigo". Durante a realização dos testes, pode-se observar que houve uma lentidão no display quando submetido a 0°C, mas foi possível evidenciar que o instrumento possui uma boa precisão e exatidão em ambos os testes, baseado em sua média e desvio padrão. Nos resultados pode-se concluir que o instrumento desenvolvido atende aos requisitos propostos com a análise dos resultados dos testes realizados.

Palavras-chave: 4-20mA. Simulador de sinal. Instrumentação. Ensaio de medição.

Data de submissão do artigo: 26/04/2019.
Data de aprovação do artigo: 07/06/2019.
DOI:

[I] Estudante do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail: ingridadila75@gmail.com.
[II] Estudante do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail:anceschi@bol.com.br.
[III] Prof. Dr. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. prof.malves@gmail.com.
[IV] Profa. Pós-Dra. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. mariaboverio@hotmail.com.
[V] Profa. Me. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. vazanferdini@gmail.com.

ABSTRACT

This work aimed to construct and perform tests on a 4-20mA two-wire signal simulation instrument, developed in partnership with Indservice Industrial Instrumentation, for instrumentation testing, with affordable price, good accuracy and Quality. The measurement tests of the current value (mA) were performed with respect to the variation of the supply voltage in the Indservice laboratory and the test of measurement of the current value (mA) according to the temperature variation in the laboratory of Metallographic analyses From the Faculty of Technology of Sertãozinho – SP "deputy Waldyr Alceu Trigo". During the tests, it can be observed that there was a slowness in the display when subjected to 0 °c, but it was possible to show that the instrument has good accuracy and accuracy in both tests, based on its mean and standard deviation. In the results it can be concluded that the developed instrument meets the proposed requirements with the analysis of the results of the tests performed.

Keywords: 4-20mA. Signal simulator. Instrumentation. Measurement assay.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa aplicada, bibliográfica e experimental/laboratorial, mostrando os testes de um instrumento de simulação de sinal 4-20mA a dois fios, que pode ser utilizado em plantas industriais para ensaio em instrumentação, proporcionando portabilidade e praticidade ao usuário, além de oferecer um bom custo benefício à empresa.

A pesquisa teve o objetivo de construir o instrumento de simulação de sinal 4-20mA a dois fios, bem como de realizar os testes com o propósito de garantir a confiabilidade, boa precisão e qualidade do instrumento, que foi construído em parceria com a empresa Indservice Instrumentação Industrial que atua na área da indústria e comércio de equipamentos industriais, elétricos, eletrônicos, pneumáticos, hidráulicos, mecânicos e com prestação de serviços de manutenção, assistência técnica e desenvolvimento de equipamentos eletrônicos (INDSERVICE, 2019).

O instrumento de simulação de sinal 4-20mA a dois fios é um instrumento eletrônico, que gera um sinal de corrente e que pode ser variado pelo usuário, tendo como objetivo simular o sinal de 4-20mA em campo ou bancada, para teste de posicionadores, entrada analógica de corrente de CLP, simular transmissores de pressão, temperatura, vazão entre outros, que utilizem este sinal de comunicação.

Existem no mercado equipamentos similares que variam entre R$740,00 a R$15.000,00. O valor para comercialização do produto, objeto desta pesquisa, é estimado pela Indservice em R$ 420,00.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nas indústrias as medições estão presentes o tempo todo para que seja garantida a confiabilidade do processo e do produto. No entanto, é preciso que a instrumentação esteja com equipamentos necessários que possibilitem a automação, tornando possível o resultado esperado. De acordo com Balbinot e Brusamarello (2014, p. 6) “a medição é à base do processo experimental.”

O principal objetivo da automação está diretamente ligado à garantia da confiabilidade do processo e do produto, tem o intuído de aumentar a produção e reduzir custos, porém notou-se que nem sempre é possível, pois o investimento inicial é alto e é sempre necessário mão de obra qualificada e treinamentos. Atualmente, busca-se qualidade no processo com menor perda como redução de custo, tornando-se possível a fabricação de bens que somente podem ser produzidos em sistemas automatizados (GUITERREZ; PAN, 2008).

> A presença da automação na economia global é crescente e ultrapassou as fronteiras das instalações industriais. O esforço diário de conjugação de dispositivos automáticos com ferramentas organizacionais e matemáticas tem levado à criação de sistemas complexos aplicáveis às várias atividades humanas. (GUTIERREZ; PAN, 2008, p. 191).

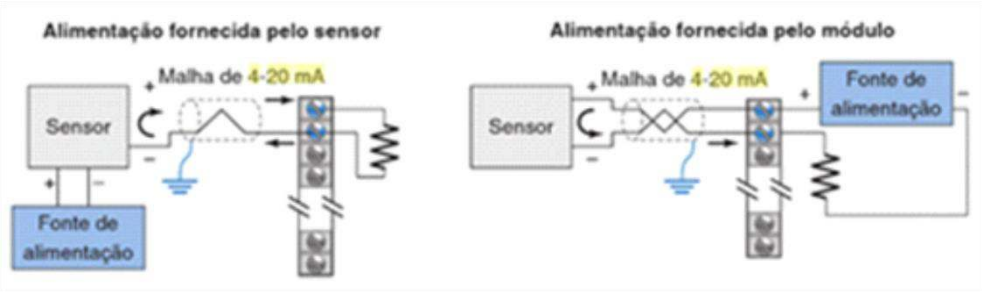
Segundo Gutierrez e Pan (2008, p. 191) "[...] a necessidade de ampliação das capacidades humanas não parou. Passou-se a buscar dispositivos que pudessem, ao receber informações do ambiente, processá-las (raciocinar) e agir sobre esse mesmo ambiente.".

Existem transmissores eletrônicos que geram sinais como 4-20mA, 10-50mA e 1-5V. Uma grande vantagem do sinal de 4-20mA é a detecção de avarias, como rompimento de fios da transmissão do sinal, por exemplo. Por isso, utiliza-se o 4mA como "zero vivo", pois o valor abaixo de 4mA indica que houve uma queda na transmissão do sinal (SENAI, 2015).

Para desenvolvimento desta pesquisa o sinal utilizado para comunicação foi 4-20mA a dois fios, amplamente utilizado na indústria para transmissão de sinais analógicos de variáveis de processo como temperatura, pressão, entre outras.

Os sinais de corrente são menos suscetíveis a ruídos do que sinais de tensão e, geralmente, não são limitados a distância. Dos sinais de corrente, o sinal de 4mA a 20mA possui uma maior aplicação e pode ser a 4 fios (alimentação fornecida pelo sensor) de acordo com a Figura 1(a) ou a 2 fios (alimentação fornecida pelo módulo) conforme apresentado na Figura 1(b). É recomendada a utilização de par trançado com blindagem (PETRUZELLA, 2014).

Figura 1- Alimentação fornecida pelo sensor e pelo módulo analógico



Fonte: Petruzella (2014, p. 28)

Para análise da qualidade e confiabilidade do instrumento desenvolvido foram realizados ensaios metrológicos para a aquisição de dados como: média aritmética simples, erro sistemático e desvio padrão, e com isso foi possível determinar a precisão e exatidão do instrumento. A metrologia é a ciência que estuda as medidas e medições. Está presente em nosso dia a dia sem ao menos percebermos, e é através dela que podemos garantir a qualidade do instrumento. Por isso, foram realizadas todas as medições necessárias que nos garantiram

que o produto objeto desta pesquisa atendesse às necessidades e expectativas de todos os envolvidos (SILVA NETO, 2012).

No experimento realizou-se a calibração do instrumento proposto com padrões calibrados com certificado da Rede Brasileira de Calibração, Certificado R3546.08.18. (RBC, 2018), para observar os resultados obtidos e poder avaliar sua real confiabilidade metrológica e, posteriormente, ser colocado em uso.

A calibração é a comparação dos valores indicados pelo instrumento de medição e os valores estabelecidos pelo padrão de medição; é importante não confundir os termos ajuste com calibração (FIDÉLIS, 2010).

Realizaram-se diversas medições para expressar um valor mais real e próximo possível, e este valor foi obtido por meio da média aritmética simples:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \quad (1)$$

Ou seja, a média é calculada dividindo-se a soma das leituras pelo número delas e o quociente geralmente representado pelo símbolo (x com a barra em cima). Trata-se de um valor extremamente importante para poder analisar os resultados como se fossem apenas um. Esses ensaios foram feitos nas mesmas condições, evitando-se variações significativas nas leituras (FIDÉLIS, 2014).

Para Fidélis (2014, p. 11) "[...] o ideal seria obter a média de um conjunto infinito de valores. Quanto mais resultados, mais próximo estaremos da estimativa ideal da média."

Ao calibrar um instrumento de medição é normal encontrar erros de medição, podendo ser positivo ou negativo. O erro é expresso matematicamente como:

Erro sistemático = média valor medido - valor verdadeiro convencional (2)

onde valor medido é a leitura do instrumento calibrado e valor verdadeiro convencional é o resultado fornecido pelo padrão de referência (FIDÉLIS, 2010).

É natural encontrar uma série de fatores que dificultem chegar ao valor verdadeiro convencional, pois há erros de diversos fatores, como: do próprio equipamento de medição, do método aplicado, do indivíduo (PESSOA; SPINOLA, 2014).

Após efetuar todas essas medições é possível notar que várias medidas deram resultados diferentes, e pode não significar que as leituras estão divergentes, pois é muito difícil conseguir realizar medições iguais, sem variação, mesmo que seja o mesmo indivíduo nas mesmas condições ambientais, com os mesmos padrões de referência. Para tirar a dúvida se o instrumento está apto para uso sem afetar a qualidade do produto que está em produção, é possível calcular o desvio padrão experimental, assim será possível entender a dispersão dos valores em torno da média. O desvio-padrão é calculado da seguinte maneira:

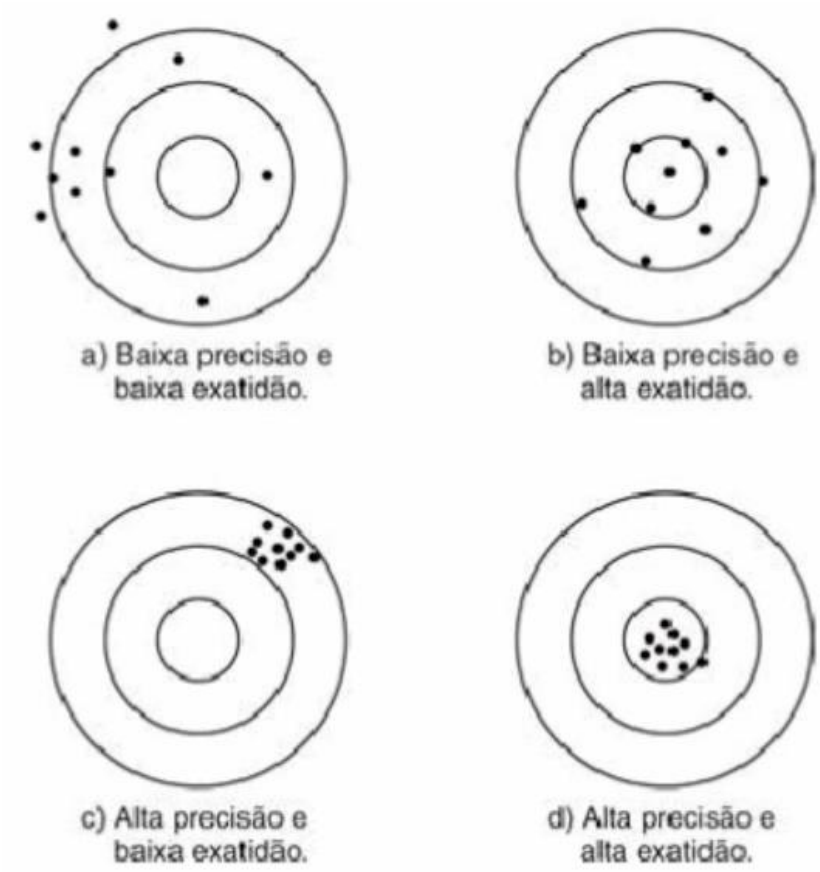
$$S = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Em que:
$\boldsymbol{S}$: representa o desvio padrão.
$\boldsymbol{\Sigma}$: representa o somatório.

$(\boldsymbol{x} - \overline{\boldsymbol{x}})^{\boldsymbol{2}}$: representa o quadrado da diferença entre a leitura medida e a média obtida.
$\boldsymbol{n}$: é o número de medições**.**

Após os cálculos pode-se compreender a dispersão dos resultados e analisar sua precisão e exatidão. A exatidão é utilizada para dizer o quanto os valores lidos estão próximos do valor aceitável, já a precisão descreve o quão disperso comparado com a variação do instrumento que está sendo medido. Na Figura 2 é possível observar a diferença entre precisão e exatidão.

Figura 2 - Representação da precisão e exatidão em medidas experimentais



Fonte: Silva Neto (2012, p. 146)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, bibliográfica e experimental/laboratorial. É considerada como pesquisa aplicada, pois o seu objetivo é desenvolver um produto, que será percebido pela sociedade. Segundo Marconi e Lakatos (2011, p. 6) "como o próprio nome indica, caracteriza-se por seu interesse prático, isto é, que os resultados sejam aplicados ou utilizados, imediatamente, na solução de problemas que ocorrem na realidade."

No que tange a pesquisa bibliográfica, possui esta característica, pois para iniciar o trabalho foi necessário levantar conhecimentos já publicados sobre o assunto abordado. Para Marconi e Lakatos (2010, p. 166) "[...] sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto, inclusive conferências

seguidas de debates que tenham sido transcritos por alguma forma, quer publicadas, quer gravadas."

A pesquisa experimental/laboratorial ocorreu em ambiente adequado para elaboração de ensaio, utilizando-se instrumentos de precisão para essa prática e condições ambientais controladas, para que fosse garantida a qualidade do produto (MARCONI; LAKATOS, 2010). A pesquisa experimental foi realizada no laboratório de instrumentação da empresa Indservice e no laboratório da FATEC "Deputado Waldyr Alceu Trigo", de Sertãozinho – SP – Brasil.

3.1 Materiais

Para a realização da pesquisa experimental/laboratorial utilizou-se os seguintes materiais:

- Estufa ESPEC modelo EPL-4H;
- Fonte variável 0-30Vcc;
- Cronometro Samsung Galaxy Tab A;
- Gerador de sinal ISOCAL MCS-10 Presys; e
- Protótipo IS-LS420.

3.2 Métodos

Para realizar os testes em laboratório utilizando as condições que podem ser encontradas durante a operação em campo, foram determinadas duas grandezas, temperatura e tensão, pois, o objetivo é avaliar o comportamento da corrente (mA) em relação a ambas as grandezas.

Adotou-se para o teste de temperatura a faixa de 0-40°C, e para o teste de tensão a faixa de 12-30Vcc, pois são as especificações de projeto da Indservice.

Os testes de simulação de corrente em relação à variação da tensão de alimentação foram realizados no laboratório da empresa Indservice, utilizando-se o Isocal MCS -10 para efetuar as medições de corrente; o cronômetro para manter um padrão de tempo de 2 minutos de intervalo entre as leituras; foram adotados os seguintes pontos de tensão (Vcc): 12, 18, 24 e 30, e para os pontos de corrente (mA): 4, 8, 12, 16 e 20.

Para cada combinação de ponto de tensão e corrente foram efetuadas dez medições. As médias e desvios-padrões obtidos estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Para a coleta dos valores a fonte de alimentação foi mantida nas tensões de 12-30Vcc e foram variados os pontos de corrente de 4-20mA.

Os testes de simulação de corrente em relação à temperatura foram realizados no laboratório da Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho – SP "Deputado Waldyr Alceu Trigo", utilizando-se uma estufa para que fosse possível variar o valor desejado de temperatura, e manter constante cada ponto estabelecido. Utilizou-se, também, um cronômetro para garantir a estabilidade da temperatura. Adotou-se um intervalo de 2 minutos entre cada leitura; após a estabilização da estufa foram adotados os seguintes pontos de temperatura (°C): 0, 10, 20, 30 e 40 e para os pontos de corrente (mA): 4, 8, 12, 16 e 20.

Para cada combinação de valor de temperatura e corrente foram efetuadas dez medições. As médias e desvios-padrões obtidos estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Para a coleta dos valores, o protótipo foi alimentado à tensão de 24Vcc e a estufa foi mantida nas temperaturas de 0-40°C e foram variados os pontos de corrente de 4-20mA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o teste de simulação de corrente em relação à tensão de alimentação foram obtidas as médias baseadas em dez leituras por combinação, e os valores estão expressos na Tabela 1.

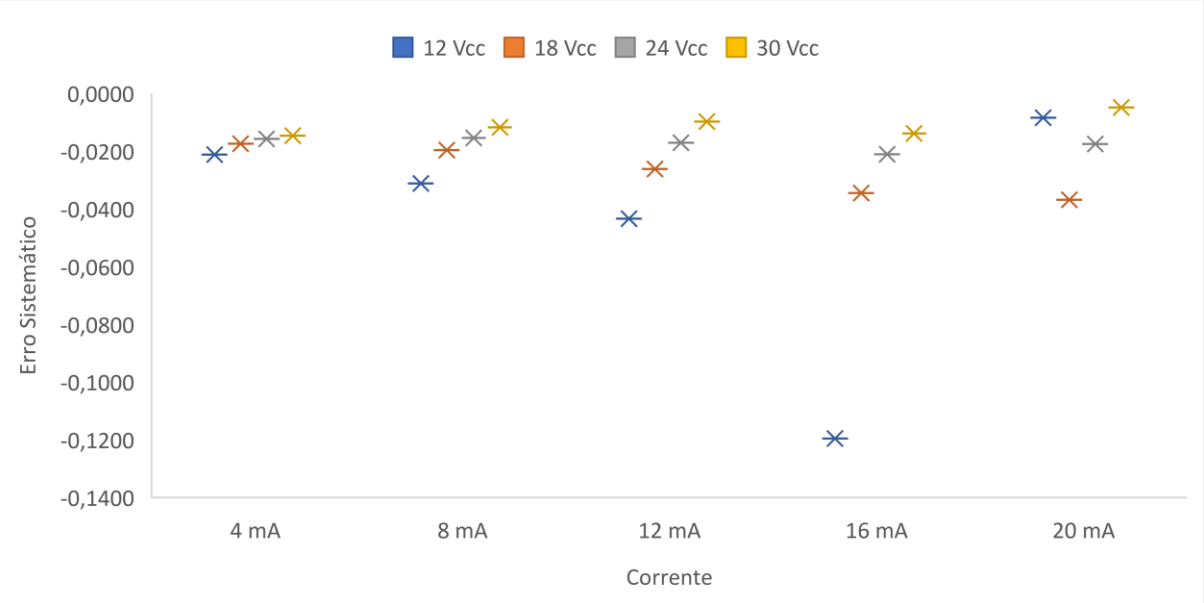
Tabela 1 - Média das leituras simulação de corrente em relação à tensão de alimentação

Vcc	mA				
	4	8	12	16	20
12	3,9788	7,9688	11,9566	15,8804	19,9918
18	3,9825	7,9803	11,9738	15,9655	19,9632
24	3,9843	7,9846	11,9829	15,9789	19,9825
30	3,9853	7,9882	11,9902	15,9861	19,9951

Fonte: elaborada pelos autores (2019)

Além disso, foram obtidos os erros sistemáticos através das médias, baseadas em dez leituras por ponto, e os valores estão expressos no Gráfico1.

Gráfico 1 - Gráfico do erro sistemático das leituras de corrente em relação à tensão de alimentação.



Fonte: elaborado pelos autores (2019)

Os desvios-padrões obtidos estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Desvio padrão das leituras simulação de corrente em relação à tensão de alimentação

Vcc	mA				
	4	8	12	16	20
12	0,0027	0,0039	0,0043	0,0163	0,0016
18	0,0006	0,0033	0,0022	0,0030	0,0035
24	0,0006	0,0013	0,0018	0,0022	0,0026
30	0,0012	0,0021	0,0027	0,0058	0,0036

Fonte: elaborada pelos autores (2019)

Para o teste simulação de corrente em relação à temperatura foram obtidas as médias baseadas em dez leituras por combinação, e os valores estão expressos na Tabela 3.

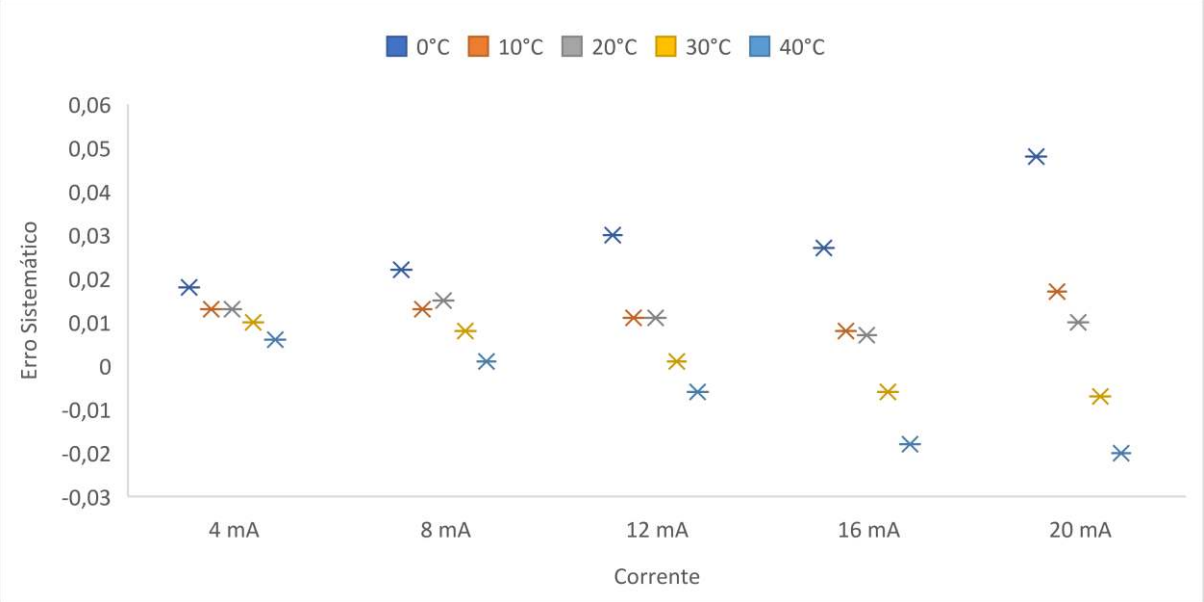
Tabela 3 – Média das leituras simulação de corrente em relação à temperatura com alimentação em 24Vcc

°C	mA				
	4	8	12	16	20
0	4,0180	8,0220	12,0300	16,0270	20,0480
10	4,0130	8,0130	12,0110	16,0080	20,0170
20	4,0130	8,0150	12,0110	16,0070	20,0100
30	4,0100	8,0080	12,0010	15,9940	19,9930
40	4,0060	8,0010	11,9940	15,9820	19,9800

Fonte: elaborada pelos autores (2019)

Os erros sistemáticos obtidos por meio das médias estão expressos no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Gráfico do erro sistemático das leituras de corrente em relação à temperatura



Fonte: elaborado pelos autores (2019)

Os desvios-padrões obtidos estão na Tabela 4.

Tabela 4 – Desvio padrão das leituras simulação de corrente em relação à temperatura com alimentação em 24Vcc

°C	mA				
	4	8	12	16	20
0	0,0040	0,0040	0,0000	0,0046	0,0040
10	0,0046	0,0046	0,0030	0,0040	0,0046
20	0,0046	0,0050	0,0030	0,0046	0,0000
30	0,0000	0,0040	0,0030	0,0049	0,0046
40	0,0049	0,0030	0,0049	0,0040	0,0000

Fonte: elaborada pelos autores (2019)

Com os resultados dos testes realizados, percebe-se que nas Tabelas 1 e 3 as médias das leituras provenientes da simulação foram muito próximas dos valores reais analisados, tanto em relação à tensão de alimentação quanto em relação à temperatura (com alimentação de 24Vcc).

O Gráfico 1 apresenta os erros sistemáticos, permite evidenciar uma tendência das leituras sempre abaixo do valor convencional. Contudo nota-se uma característica anômala, mostrando que houve uma dispersão fora do esperado principalmente em 12Vcc e 16mA, tratando de um erro aleatório não sendo possível identificar sua origem.

Na Gráfico 2 observamos que, independentemente do valor da temperatura, os erros sistemáticos são menores no valor de corrente de 4mA, e que os resultados estão mais próximos dos valores verdadeiro convencional na temperatura de 30ºC, nas demais houve uma pequena variação dos resultados para mais e para menos.

Durante o ensaio de temperatura abaixo de 10°C, foi possível observar que o Display LCD apresentou uma lentidão na impressão dos valores, quando é incrementado ou decrementado através do acionamento dos botões. Esta característica não interfere no funcionamento do instrumento, pois, além de acontecer somente no extremo da faixa de temperatura, esta lentidão não afeta a simulação do sinal de corrente, como pode ser observado nas leituras das Tabelas 3 e 4, além da Gráfico 2.

5 CONCLUSÃO

As médias das leituras na simulação de corrente em relação à tensão de alimentação mostraram uma tendência sempre abaixo do valor verdadeiro convencional. Para contornar essa situação, foi proposta a calibração do aparelho utilizado.

No Gráfico1 diagnosticou-se que o instrumento, quando alimentado em 12Vcc, apresenta uma variação no sinal de corrente obtendo um erro sistemático de 0,1196mA, porém, o teste foi realizado para identificar qual seria o menor valor da tensão de alimentação, sendo assim a faixa de tensão de trabalho não poderá ser de 12 à 30Vcc, mas sim de 18 à 30Vcc.

Através da análise dos resultados do teste de corrente em relação à variação da temperatura, pode-se notar no Gráfico 2 que o instrumento tem um baixo erro sistemático sendo o maior erro sistemático encontrado de 0,05mA, que possibilita a utilização do mesmo em toda a faixa de temperatura testada.

Sendo assim será estabelecido que o maior erro sistemático para instrumento em toda a sua faixa de trabalho nas grandezas testadas, não poderá exceder ±0,05mA pois até esse erro é possível garantir a qualidade proposta.

E tornou-se evidente uma característica inesperada, sendo uma lentidão no display quando colocado à 0°C. No entanto, essa lentidão não afeta seu funcionamento, essa característica será vista em uma futura revisão do projeto.

O instrumento mostrou-se preciso, ou seja, apresenta uma boa repetibilidade, quanto à exatidão, após serem concluídas todas as sugestões acima será feito novos ensaios para tentar garantir uma melhor exatidão.

Em virtude da qualidade identificada, o instrumento desenvolvido está apto para ser comercializado, com preço acessível de R$420,00, boa precisão e qualidade, tal como foi proposto no objetivo da pesquisa.

REFERÊNCIAS

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SERTÃOZINHO (FATEC). **Laboratório de análises metalográficas**. 2018.

FIDÉLIS, Gilberto Carlos. **Estatística aplicada nas calibrações**, **medições e ensaios**. 2. ed. Florianópolis: CECT, 2014.

_____. **Técnicas para assegurar resultados confiáveis**. 1. ed. Florianópolis: CECT, 2010.

GUTIERREZ, Regina Maria Vinhais; PAN, Simon ShiKoo. **Complexo eletrônico**: automação do controle industrial. Rio de Janeiro: BNDS Setorial, 2008.

INDSERVICE INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL. ROGNER R. M. DA SILVA INSTRUMENTAÇÃO. **Laboratório de instrumentação**. 2018. Disponível em: http://www.indservice.com.br/. Acesso em: 06 abr. 2019.

MARCONI, Marin de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia cientifica**. 7.ed. São Paulo: Atlas S.A 2010.

_____; _____. **Técnicas de pesquisa**. 7.ed. São Paulo: Atlas S.A 2011

PESSÔA, Marcelo Schneck de Paula; SPINOLA, Mauro de Mesquita. **Introdução à automação para cursos de engenharia e gestão**.1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

PETRUZELLA, Frank D. **Controladores Lógicos Programáveis**.4. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2014.

REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO (RBC). **Certificado R3546.08.18** – 2018.

SENAI. **Fundamentos de instrumentação**: pressão / nível / vazão / temperatura. São Paulo: SENAI-SP Editora, 2015.

SILVA NETO, João Cirilo. **Metrologia e controle dimensional**. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.