

## **AJUSTE DE CURVAS POR MEIO DE PROCURA EM REDE PARA DUAS CLASSES DE TERMORESISTÊNCIAS DO TIPO PT-100<sup>1</sup>**

**Felipe Snitowski Gavioli<sup>2</sup>, Francisco L. D. Bressan<sup>3</sup>, Joana G. Câmara<sup>4</sup>, Nathan T. Makowski<sup>5</sup>, Peterson Cleyton Avi<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Trabalho da disciplina de Métodos Numéricos Aplicados.

<sup>2</sup> Discente de Engenharia Elétrica – UNIJUÍ, Ijuí - RS.

<sup>3</sup> Discente de Engenharia Elétrica – UNIJUÍ, Ijuí - RS.

<sup>4</sup> Discente de Engenharia Elétrica – UNIJUÍ, Ijuí - RS.

<sup>5</sup> Discente de Engenharia Elétrica – UNIJUÍ, Ijuí - RS.

<sup>6</sup> Mestre e Docente – UNIJUÍ, Ijuí - RS.

### **INTRODUÇÃO**

Qualquer que seja o tipo de indústria, existem padrões mínimos de qualidade que garantem a padronização dos produtos produzidos, o controle de temperatura é um dos parâmetros de processo mais importantes para garantir a qualidade do produto. Não se trata apenas de uma questão financeira, uma vez que nenhuma empresa deseja empregar matérias-primas em produtos acabados sem potencial de comercialização, mas também é uma questão de conformidade normativa. Por exemplo, no contexto da indústria de alimentos, existem diversos padrões de temperaturas especificados nos regulamentos da RDC 216, estabelecida pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) que devem ser estritamente observados.

Um dos meios de determinação do comportamento de um intervalo de dados é o ajuste de curva não linear utilizando, por exemplo, o Método de Procura em Rede, em que se pode determinar, neste caso, a função exponencial que representa o problema. Apesar do método ser exaustivo, apresenta bons resultados quando não é exigida muita precisão (AVI, 2011).

Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo realizar uma Modelagem por meio do Método de Procura em Rede, além de analisar a leitura de temperatura de duas termoresistências, que são sensores de temperatura amplamente utilizados na indústria.

### **METODOLOGIA**

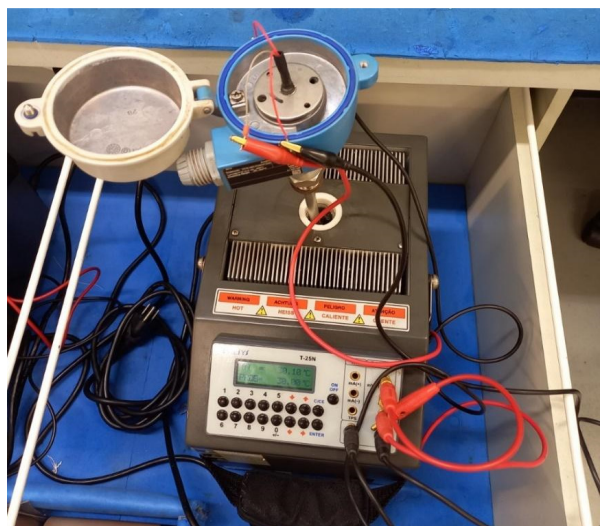
Existem 4 classes da termoresistência PT-100 que divergem, principalmente, na acurácia e tolerância. Sendo a acurácia mais a tolerância da Classe AA  $\pm (0,1+0,0017 * t)$ , da Classe A  $\pm (0,15+0,002 * t)$ , da Classe B  $\pm (0,3+0,005 * t)$ , já a Classe C  $\pm (0,6+0,01 * t)$ , que

não é muito utilizada para circuitos industriais, sendo  $t$  a temperatura em  $^{\circ}\text{C}$  (LAPP AUTOMAATIO OY, 2021).

Visto isso, foi feito o uso de duas termoresistências do tipo PT-100, sendo uma delas de Classe A, da Endress+Hauser Group Services AG do modelo TR25, e outra de Classe B, da ZÜRICH modelo T.420.S; esperando obter uma resposta diferente das duas em relação à temperatura.

A coleta de dados ocorreu a partir de um equipamento denominado de Banho Térmico tipo Bloco Seco T-25N fabricado pela Presys, que é capaz de gerar valores de temperatura diretamente em um bloco de prova com uma elevada exatidão, foi definido um tempo de estabilização para quando a temperatura chegasse à  $100^{\circ}\text{C}$ , gerando uma série de dados para a posterior análise. No equipamento, como observado na figura 1, foi inserida cada uma das termoresistências do tipo PT-100, a saída da termoresistência foi conectada a um Registrador Eletrônico modelo Logbox-AA, que armazena os valores do sensor em um intervalo de 1 segundo e gera um gráfico bem como uma tabela com cada valor de temperatura, neste caso, em função do tempo.

Figura 1 - Coleta de dados de uma termoresistência.



Fonte: Autores, 2023.

A partir dos dados obtidos, a seleção dos dados para a termoresistência PT-100 Classe A foi iniciada na temperatura ambiente de  $24,3^{\circ}\text{C}$  variando em minutos até a sua estabilidade em  $98,6^{\circ}\text{C}$ , como pode ser observado na tabela 1, juntamente com a seleção dos dados da termoresistência PT-100 Classe B que respeitou os mesmos critérios, sendo a temperatura

inicial 24°C e a de estabilidade 96°C. A partir destes dados foi feito um ajuste de curvas para cada caso através do software Matlab.

Tabela 1: Dados da termoresistência do tipo PT-100.

Tempo (em minutos)	Temperatura (em °C)	
	Classe A	Classe B
0	24,3	24,0
1	34,2	32,7
2	47,5	49,9
3	62,0	66,7
4	76,5	79,8
5	87,6	90,8
6	93,9	94,6
7	97,1	95,6
8	98,6	96,0

Fonte: Autores, 2023.

Visto que, pela natureza exponencial dos dados de temperatura, eles podem ser representados pela seguinte equação:

$$Y = Ae^{Bx} + C$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Matlab foi feito o uso de um algoritmo de ajuste exponencial disponibilizado durante as aulas de Métodos Numéricos Aplicados, que realiza milhares de cálculos com base em intervalos definidos por cálculos, que estão na tabela 2.

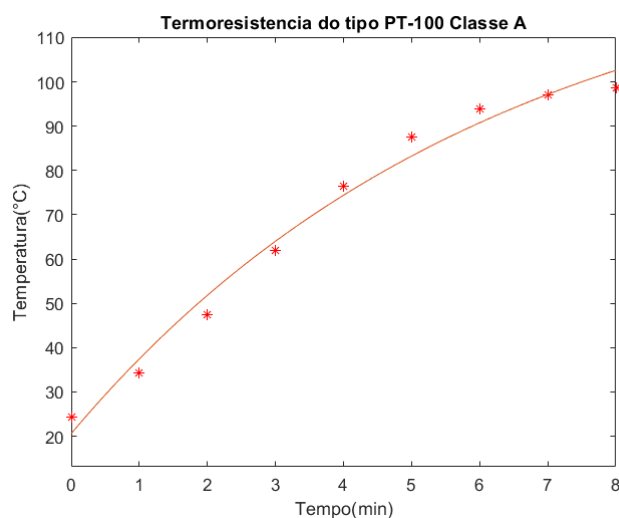
Tabela 2 - Intervalos definidos para os coeficientes da equação.

Coeficiente	Intervalo	
	Classe A	Classe B
A	[-100, -80]	[-90, -80]
B	[-1, 0]	[-1, 0]
C	[110, 130]	[100, 105]

Fonte: Autores, 2023.

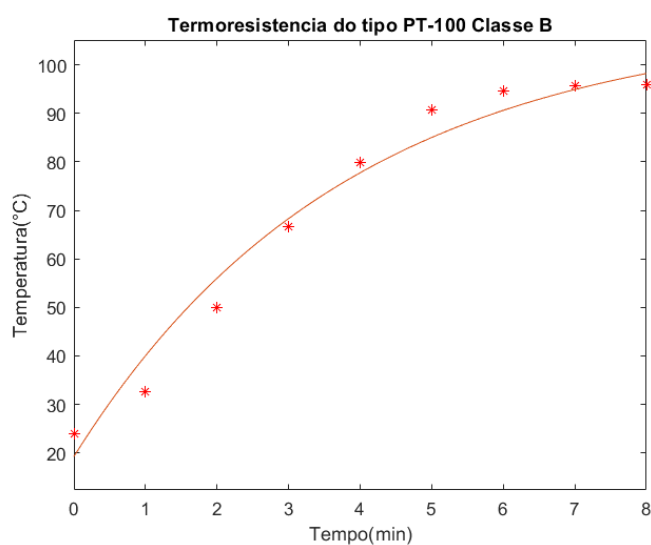
Inserindo os dados e os intervalos no algoritmo, foram obtidos os gráficos já com o ajuste de curva (figuras 2 e 3), a equação com seus coeficientes A, B e C, além do coeficiente de determinação R<sup>2</sup> (tabela 3) de ambas termoresistências PT-100 Classe A e Classe B.

Figura 2 - Curva representativa da PT-100 Classe A.



Fonte: Autores, 2023.

Figura 3 - Curva representativa da PT-100 Classe B.



Fonte: Autores, 2023.

Tabela 3 - Resultado dos coeficientes A, B e C dos dois casos e o R<sup>2</sup>.

Coeficiente	PT-100	
	Classe A	Classe B
A	-113,03	-87,57
B	-0,1616	-0,2929
C	113,6364	109,19
R <sup>2</sup>	0,9850	0,9726

Fonte: Autores, 2023.



Sendo assim a equação exponencial que representa a curva de variação da temperatura pelo tempo da termoresistência PT-100 Classe A é:

$$Y = -113,03e^{-0,1616x} + 113,6364$$

E a equação exponencial que representa a curva da termoresistência PT-100 Classe B é:

$$Y = -87,57e^{-0,2929x} + 109,19$$

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, foi possível obter uma equação representativa para ambas termoresistências, com um coeficiente de determinação  $R^2$  relativamente alto de 98,50% e 97,26%, respectivamente, das Classes A e B.

Considerando que esse ajuste não é possível fazer por Mínimos Quadrados, o Método de Procura em Rede se mostrou eficiente e interessante para modelar essa situação de temperatura em função do tempo, por ser um Método de fácil implementação computacional e principalmente por gerar resultados satisfatórios.

**Palavras-chave:** Método de Procura em Rede. Termoresistência. Ajuste de Curvas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução N° 216, de 15 de setembro de 2004. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216\\_15\\_09\\_2004.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html). Acesso em: 26 de Jun. 2023.

AVI, Peterson Cleyton. **MODELO SEMI-EMPÍRICO PARA A MODELAGEM DA TRANSFERÊNCIA SIMULTÂNEA DE CALOR E ÁGUA NO SOLO**. 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Modelagem Matemática, Departamento de Física, Estatística e Matemática, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2011.

LAPP AUTOMAATIO OY (Finlândia). **What are the Pt100 accuracy classes?** 2021. Disponível em: <https://www.epicsensors.com/en/faq/what-are-the-pt100-accuracy-classes/>. Acesso em: 26 jun. 2023.