

## PLATAFORMA PARA ENSINO EXPERIMENTAL DE INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA: ESTUDO DE TERMISTORES

**Marianne Bianca de Melo Bezerra** – marianne.bezerra@ee.ufcg.edu.br  
Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Elétrica  
Rua Aprígio Veloso, 882, Universitário  
58429-900 – Campina Grande – Paraíba

**Wislayne Dayanne Pereira da Silva** – wislayne.silva@ee.ufcg.edu.br

**Tony Carlos Moura Cavalcanti** – tony.cavalcanti@ee.ufcg.edu.br

**Jaidilson Jó da Silva** – jaidilson@dee.ufcg.edu.br

**Resumo:** A temperatura é uma das grandezas físicas mais medidas no ramo da instrumentação eletrônica. Assim, a familiarização dos futuros engenheiros eletricitas com componentes eletrônicos utilizados para realizar essas medições é de grande importância para a sua formação acadêmica. Nesse contexto, foi proposta a implementação de uma plataforma de ensino para o estudo de termistores. Os termistores são sensores termoresistivos que variam a sua resistência de acordo com o aumento ou diminuição da temperatura, sendo classificados como PTC e NTC. A plataforma possibilita que os alunos do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) façam os experimentos necessários para o estudo de características físicas dos termistores. Para isso, foi utilizado um dispositivo para a aquisição de dados NI DAQ USB-6212 e projetados dois circuitos para os atuadores, que são responsáveis pela dinâmica do experimento. Os atuadores utilizados foram: um resistor de fio de  $10\ \Omega / 50\ W$  que é utilizado como estufa para aquecer o ambiente dos sensores (PTC ou NTC e LM35) e um cooler para resfriar a resistência de fio (estufa). Para facilitar a execução do experimento, foi implementada uma interface gráfica utilizando o software LabVIEW. Com a realização dos experimentos foi possível adquirir dados necessários para a obtenção da curva característica dos sensores termo resistivos e assim obter a equação característica do comportamento dos sensores.

**Palavras-chave:** Aquisição de Dados, Instrumentação Eletrônica, Resistência Elétrica, Temperatura, Termistores.

### 1 INTRODUÇÃO

A instrumentação eletrônica aplica e desenvolve técnicas para sistemas de medição, transmissão, registro e controle de variáveis físicas utilizando dispositivos eletrônicos. Esses sistemas são compostos por circuitos eletrônicos que possuem entre seus componentes os sensores, que são responsáveis pela captação das variáveis que se deseja mensurar, de forma que detectam um sinal ou estímulo de uma grandeza física e a convertem em uma grandeza elétrica mensurável (CAMPO et al., 2008).

Uma das grandezas físicas comumente medidas é a temperatura. A medição da temperatura é realizada com utilização de uma ampla variedade de sensores, com características específicas para cada aplicação. Um exemplo são os sensores termo-resistivos, utilizados usualmente nas mais diversas áreas do conhecimento, desde a microeletrônica até a mecânica dos fluidos (NASCIMENTO, 2016). Essa relação entre a resistência e a temperatura é descrita analisando o comportamento do sensor que se dá de forma não-linear (OLIVEIRA, 1997).

Neste trabalho, fez-se uma análise do comportamento de termistores quando submetidos a variações de temperatura, a fim de obter as características do seu comportamento. Para isso, foi desenvolvida uma plataforma de testes e uma interface no *software* LabVIEW para o acompanhamento do experimento. Com os dados adquiridos foi possível obter a curva e a equação características, tornando possível a identificação do termistor de acordo com o aspecto de funcionamento. A utilização da plataforma está atrelada a disciplina de Laboratório de Instrumentação Eletrônica ofertada pelo curso de graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são apresentados de maneira sucinta os principais conceitos necessários para a compreensão do funcionamento e características da plataforma desenvolvida. Para tal, primeiramente é apresentado o contexto de aplicação, seguido do embasamento teórico de sensores termoresistivos do tipo PTC e NTC. Posteriormente são descritas as características básicas do *software LabVIEW* e do dispositivo de aquisição de dados NI DAQ USB-6212.

### 2.1 Instrumentação Eletrônica

A correta compreensão de como os sistemas de medição interagem com o meio e fornecem informações, que podem ser tratadas e aplicadas na resolução dos mais variados problemas, é algo crucial para engenharia, principalmente quando se considera as inúmeras aplicações dos sensores na atualidade.

Para suprir essa demanda de conhecimento, a disciplina de Instrumentação Eletrônica aborda conteúdos de grande importância para a formação do futuro profissional da Engenharia Elétrica, uma vez que introduz as técnicas básicas e os principais métodos para realizar medições utilizando sensores ou transdutores. Para melhor aproveitamento, a disciplina conta com atividades em laboratório, onde os alunos realizam experimentos práticos utilizando plataformas experimentais e sistemas de aquisição de dados. Com isso, o aluno se torna apto a analisar e dimensionar diversos tipos de circuitos de condicionamento, além de ter conhecimento sobre o funcionamento de diversos tipos sensores.

Os experimentos são realizados com a utilização do *software LabVIEW* e do dispositivo de aquisição de dados *NI DAQ USB-6212*, ambos fabricados pela *National Instruments*. A interface com o usuário é realizada por meio do *LabVIEW*, o qual dispõe de capacidade de visualização, aquisição e controle do experimento.

### 2.2 Termistor

Os termistores são resistores semicondutores sensíveis à temperatura que sofrem variação na sua resistência quando submetidos a diferentes temperaturas. Além da alta sensibilidade a variações térmicas, os termistores apresentam pouca interferência por choques mecânicos ou vibrações externas (RUDTSCH, S; ROHDEN, C., 2015). Assim, possuem vasta possibilidade de aplicações em sistemas de instrumentação e medições de forma geral.

Esses sensores podem ser do tipo PTC (*Positive Temperature Sensor*) ou NTC (*Negative Temperature Sensor*). Os sensores PTC possuem a característica de aumentar a sua resistência com o aumento da temperatura, tendo assim o coeficiente de temperatura positivo. Já os sensores do tipo NTC diminuem sua resistência com o aumento da temperatura, assim, possuem o coeficiente de temperatura negativa (ARAÚJO et al, 2015). Matematicamente, esse comportamento é descrito de duas maneiras: pela aplicação da primeira lei da termodinâmica e pela relação da resistência elétrica com a temperatura. A última é genericamente dada pela Equação 1 (OLIVEIRA, 1997).

$$R_s = F(T_s) \quad (1)$$

em que:  $R_s$  é a resistência elétrica do sensor e  $T_s$  é a sua temperatura.

Para termistores do tipo NTC, a equação mais usada para expressar essa relação é:

$$R_s = R_o * e^{B(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_o})} \quad (2)$$

E para os termistores do tipo PTC é dada por:

$$R_s = R_o [1 + \alpha_1(T_s - T_o)]$$

em que:  $R_s$  e  $R_o$  são as resistências elétricas do sensor nas temperaturas de uso  $T_s$  e de referência  $T_o$ , respectivamente.

Ao que se refere a descrição do comportamento pela aplicação da primeira Lei da Termodinâmica, tem-se que a energia que é entregue ao sensor é constituída pela soma da energia perdida para o meio ambiente com a variação da sua energia interna, genericamente apresentada na Equação 4.

$$e_i = e_o + \Delta e_a \quad (4)$$

em que:  $e_i$  é a energia entregue ao sensor,  $e_o$  é a energia perdida para o meio ambiente e  $\Delta e_a$  é a variação da energia interna.

Considerando que quando o termistor é aquecido por efeito Joule, ocorre transmissão de calor por condução, radiação e convecção, a Equação 4 pode ser reescrita da seguinte forma: (OLIVEIRA, 1997).

$$\alpha SH + P_e = hS (T_s - T_a) + mc \frac{dT_s}{dt} \quad (5)$$

em que:  $\alpha SH$  é a radiação absorvida pelo sensor, por unidade de tempo;  $\alpha$  é o coeficiente de transmissividade-absorvida do sensor;  $H$  é a radiação incidente;  $P_e$  é a potência elétrica;  $hS (T_s - T_a)$  é a energia perdida pelo sensor para o meio ambiente por unidade de tempo;  $h$  é o coeficiente de transferência de calor na superfície do sensor;  $S$  é a área da superfície do sensor;  $T_s$  é a temperatura do sensor;  $T_a$  é a temperatura ambiente;  $mc \frac{dT_s}{dt}$  é a variação da energia interna do sensor por unidade de tempo;  $m$  é a massa do sensor;  $c$  é o calor específico do sensor.

### 2.3 LabVIEW

O uso de interface homem-máquina é cada vez mais comum nos processos de automação. Na instrumentação eletrônica não é diferente, é muito utilizado o conceito de Instrumentação Virtual (*Virtual Instrument* - VI), que possibilita a simulação de instrumentos de medição reais por meio de programação gráfica. Uma das plataformas de programação gráfica mais utilizadas nessa área é o *LabVIEW*, um *software* de engenharia de sistemas desenvolvido pela *National Instruments* para aplicações que requerem testes, medições e controle com rápido acesso ao *hardware* e *insight* de dados. O *LabVIEW* utiliza programação baseada em fluxo de dados para determinar a execução do programa, os quais podem realizar a aquisição dos dados, o processamento das informações e a interface com o usuário (NATIONAL INSTRUMENTS, 2019).

No desenvolvimento dessa plataforma de experimentos, o *LabVIEW* foi utilizado para a elaboração da interface gráfica, para realizar a aquisição dos dados das leituras dos sensores e para o controle dos atuadores.

### 2.4 NI DAQ USB-6212

O NI DAQ USB-6212 é um dispositivo de aquisição de dados multifuncional da *National Instruments*. Possui até 32 entradas e saídas digitais, 2 saídas analógicas com 250 kS/s e 16 entradas analógicas com 16 bits e 400 kS/s. É muito aplicado em testes, processos de controle, monitoramento em campo, aquisição de dados e aplicações em ensino e pesquisa (NATIONAL INSTRUMENTS, 2019).

O dispositivo foi utilizado para obter as leituras dos sensores e enviá-las para o *software LabVIEW*, no qual serão processadas. É também responsável por enviar os comandos de acionamento e desligamentos dos atuadores no sistema.

## 3 METODOLOGIA

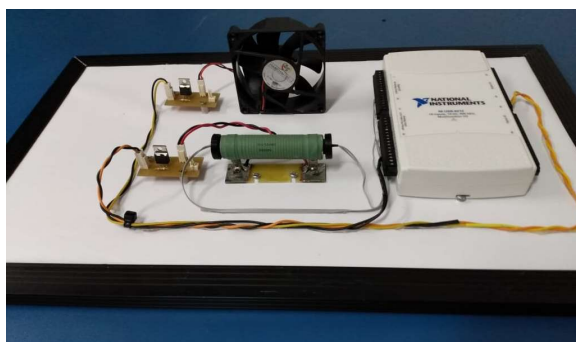
Para o estudo dos termistores, torna-se essencial compreender o seu comportamento a partir da relação entre a temperatura e a resistência. Essa análise é feita com a curva característica visualizada na interface e em posterior com a aquisição dos dados do experimento por meio de gráficos em que é possível analisar o comportamento dos termistores e levantar o

modelo que o caracteriza. Para isso, foi construído um sistema capaz de variar e medir a temperatura da estufa e a resistência do termistor.

### 3.1 Plataforma Experimental

Foi desenvolvida uma plataforma experimental para realizar o estudo dos termistores, constituída por circuitos de condicionamento, acionamento, aquisição de dados e interface gráfica. Na Figura 1 é apresentada a imagem da plataforma implementada e a seguir a descrição dos seus circuitos constituintes.

Figura 1- Plataforma Experimental

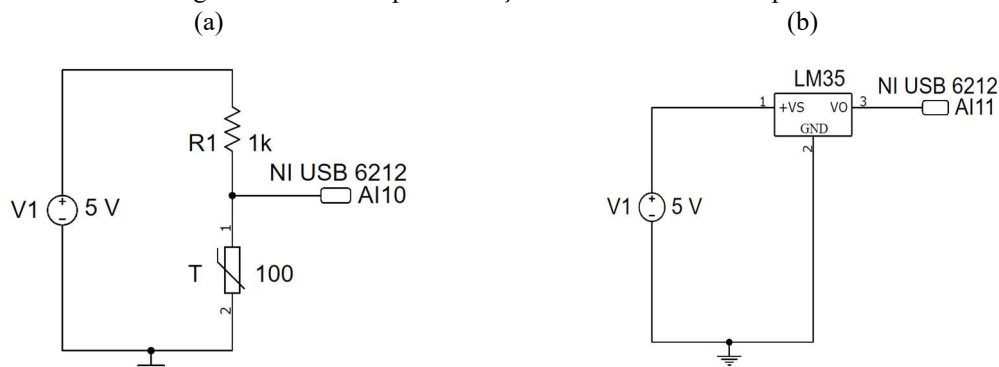


Fonte: Autoria Própria

#### *Circuitos de Condicionamento*

Para a obtenção do valor da resistência, fez-se uso de um divisor de tensão entre um resistor de 1 k $\Omega$  associado em série com o termistor em análise, como apresentado na Figura 2a. O sensor de temperatura LM35 foi utilizado para obter a temperatura na estufa, utilizando-o como sensor de referência para a temperatura. O circuito de medição de temperatura é apresentado na Figura 2b.

Figura 2 – Circuitos para Medição de Resistência e Temperatura.



Fonte: Autoria Própria

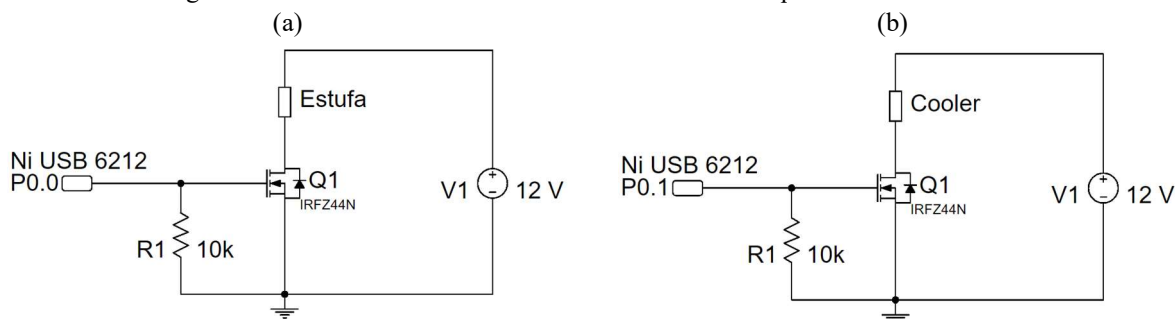
Aplicando-se a Lei de Kirchhoff das correntes no circuito apresentado na Figura 2a, pode-se obter o valor da resistência do termistor  $T$  ( $R_T$ ) dada pela Equação 6.

$$R_T = \frac{1K * V_{AI10}}{5V - V_{AI10}} \quad (6)$$

### Circuito de Acionamento

Os atuadores do sistema são um resistor de fio de  $10 \Omega / 50w$  e um *cooler*, os quais são utilizados para aquecer e resfriar, respectivamente. Com a utilização da interface é possível acionar os circuitos de aquecimento e de resfriamento, foi utilizada a mesma topologia de circuito para os dois acionamentos, como mostrado nas Figuras 3a e 3b.

Figura 3- Circuitos de Acionamento dos Atuadores de Aquecimento e Resfriamento.



Fonte: Autoria Própria

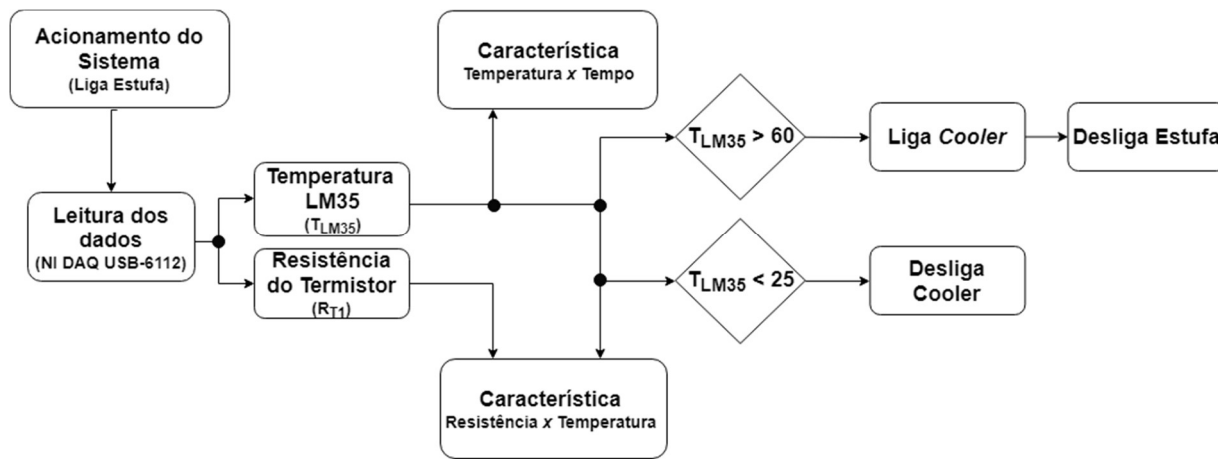
## 3.2 Aquisição e Tratamento dos Dados

Para a aquisição dos dados lidos pelos sensores e o acionamento dos atuadores foi utilizado o DAQ USB-6212 e para auxiliar na execução do experimento foi desenvolvida uma interface no *LabVIEW*. Na Figura 4 é ilustrado o fluxograma referente a lógica e o fluxo de execução do experimento.

Com a realização das leituras das tensões referentes a resistência elétrica e a temperatura do termistor em teste, os dados obtidos são exibidos numericamente e graficamente em tempo real na interface. Além disso, são salvos em um arquivo no formato .txt e armazenados na página da *Web* destinada às informações da disciplina. Com esses dados os alunos poderão posteriormente realizar a análise comportamental do sensor.

Durante o experimento também é realizado o controle dos atuadores. Quando o botão denominado como “Aquecer” é acionado, a estufa (resistor de fio) é energizada e passa a fornecer calor ao sistema. Quando a temperatura medida atingir  $60^\circ\text{C}$ , o resistor de fio para de ser energizado e o *cooler* é acionado para acelerar o resfriamento da estufa. Quando a temperatura atinge um valor inferior à temperatura ambiente, adotado como sendo  $25^\circ\text{C}$ , o *cooler* é desligado e o experimento é finalizado.

Figura 4- Fluxograma da interface do LabVIEW.

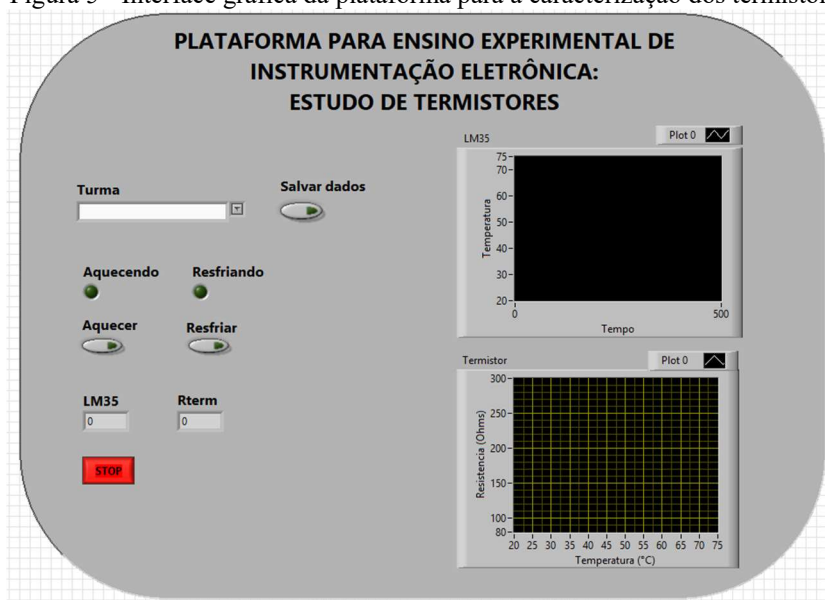


Fonte: Autoria Própria

### 3.3 Interface Gráfica

A interface gráfica apresentada na Figura 5 foi desenvolvida com a finalidade de auxiliar o(a) aluno(a) durante a realização do experimento. Nela são expressas de forma direta as variáveis que estão sendo mensuradas e o *status* no qual se encontra o experimento. A utilização dos elementos visuais ajudam a melhorar a percepção do comportamento do componente em estudo, tendo em vista que há um padrão de resposta esperado para cada tipo de termistor.

Figura 5 - Interface gráfica da plataforma para a caracterização dos termistores



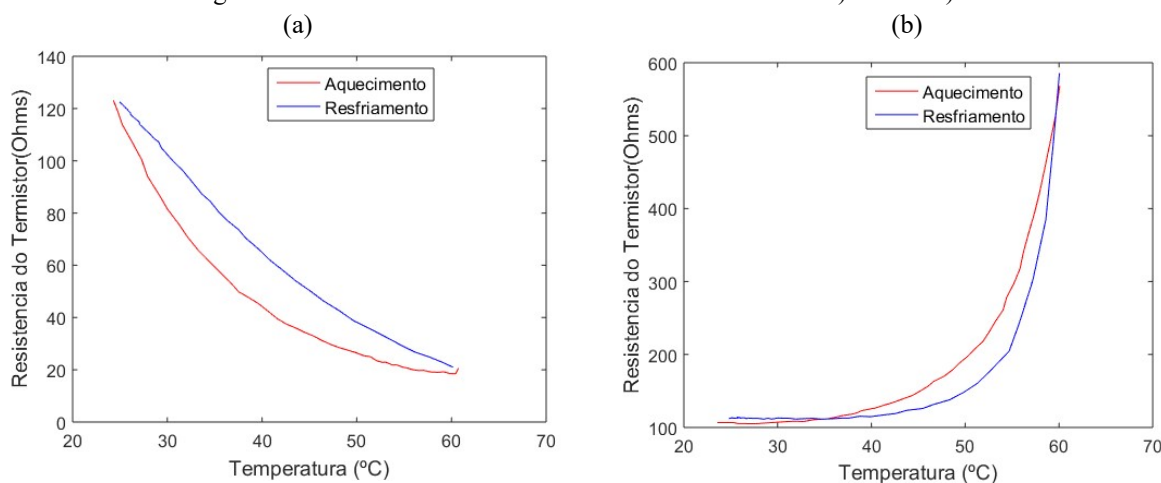
Fonte: Autoria própria.

Para a realização do experimento o(a) aluno(a) necessita, primeiramente, selecionar a turma a qual está matriculado(a) e, em seguida, selecionar o botão “Aquecer” para acionar a estufa, possibilitando assim a variação da resistência do termistor. Quando a estufa atingir a temperatura de 60° C o botão “Aquecer” será automaticamente desligado e o “Resfriar” será ligado, fazendo com que o *cooler* seja acionado para acelerar o processo de resfriamento. Quando a estufa atinge a temperatura do início do experimento, o *cooler* é desligado e o experimento finalizado.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos experimentos de aquecimento e resfriamento da estufa e da obtenção dos dados referentes a temperatura e a variação da resistência do termistor, cabe aos alunos analisar o comportamento do mesmo. A análise inclui construir a curva característica, encontrar a equação que representa o comportamento do componente e classificá-lo como PTC ou NTC. Para isso, os alunos precisam tomar os dados, obtidos experimentalmente nas medições, que estão armazenados em formato .txt na página WEB da disciplina, e fazer o tratamento utilizando um *software* de computação numérica como, por exemplo, o *MatLab*, conforme apresentado nas Figura 6a e 6b.

Figura 6 - Curva Característica dos Termistores em Estudo a) NTC e b) PTC



Fonte: Autoria própria.

Com a curva característica é possível classificar qual o tipo de termistor e obter a equação que representa o seu comportamento. Essa equação é obtida utilizando o mesmo software de computação numérica. Para isso, utilizou-se a função *cftool* que calcula a aproximação matemática do tipo selecionado em relação aos valores declarados, para essa aplicação foi utilizada a aproximação exponencial e os valores medidos durante o experimento. Essa aproximação é feita obtendo os coeficientes da função exponencial, onde o  $R$  representa a resistência e o  $T$  a temperatura.

Analisando o gráfico à esquerda (Figura 6a), pode-se verificar que o valor da resistência diminui com o aumento da temperatura, e verificando a Equação 7, na qual apresenta a função

exponencial com o coeficiente de temperatura negativo, portanto, o termistor é classificado do tipo NTC.

$$R = 490,6 * e^{-0.059T} \quad (7)$$

No gráfico à direita (Figura 6b), tem-se que resistência aumenta com o aumento da temperatura e analisando a Equação 8, o termistor apresenta o coeficiente de temperatura positivo. Sendo assim, refere-se a um termistor do tipo PTC.

$$R = 13,5 * e^{0.0576T} \quad (8)$$

Sendo assim, a plataforma possibilita o estudo dos sensores de forma prática e dinâmica. Pois, os alunos são os responsáveis desde a execução dos experimentos até a análise dos dados. Logo, obtendo uma maior familiarização com os componentes e seu comportamento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho, o objetivo foi proporcionar de forma sintetizada e objetiva uma familiarização com a plataforma de estudo de termistores desenvolvida e apresentar o seu contexto de aplicação ao ensino de engenharia elétrica no curso de graduação da Universidade Federal de Campina Grande. Para alcançar esse objetivo, optou-se por uma descrição dos conceitos e características dos sensores termorresistivos em estudo, e um detalhamento sequencial das principais ferramentas utilizadas e procedimentos realizados para a construção e utilização da plataforma. Diante dos resultados obtidos experimentalmente, conclui-se que o projeto satisfaz os requisitos que se pretendia atingir, podendo afirmar que o seu uso constituirá um auxiliar útil de aprendizado para a disciplina de Instrumentação Eletrônica.

### *Agradecimentos*

Agradecemos aos membros do Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC) por viabilizar a execução desse projeto.

## REFERÊNCIAS

ARAUJO. L. V.; CATUNDA S. Y. C.; BELFORT D.; DENOVAL M.; FREIRE R. C. S. **SPICE-Based Dynamical Model of a NTC Thermoresistive Sensor for Anemometer Applications.** In: IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference 2015, Pisa, Italia, 2015.

CAMPO, J. C.; FERRERO, F. J.; VALLEDOR M.; ALVAREZ-ALVAREZ J.C.; Alvarez-Anton J. C.; VIERA J. C. **An Electronic Instrumentation Course as Part of a Multidisciplinary Learning Project.** In: IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference 2008, Victoria, Vancouver Island. Canadá, 2008.

NASCIMENTO, M. V. **Plataforma para Medição da Condutância Térmica de Sensores Termorresistivos**. 2016. 31 f. Monografia (Graduação) - Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

National Instruments. **What is LabVIEW**. Disponível em: <http://www.ni.com/cs-cz/shop/labview.html>. Acesso em: 05 Mar. 2019.

OLIVEIRA, Amauri. **Sensores Termo-Resistivos em Configurações realimentadas**. 1997. 127 f. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

RUDTSCH, S; ROHDEN, C. Calibration and self-validation of thermistors for high-precision temperature measurements. **Jornal Measurement**, v.76, p. 1-6, 2015.

## PLATFORM FOR EXPERIMENTAL TEACHING OF ELECTRONIC INSTRUMENTATION: THERMISTOR STUDY

**Abstract:** *Temperature is one of the physical characteristics most measured in the electronic instrumentation field. Therefore, it is important that future engineers get familiarized with electronics components used to measure it. For this, it was proposed the implementation of a learning platform to thermistor study. Thermistors are sensors which vary their resistance with an increase or decrease temperature range, they are classified as PTC and NTC, respectively. The platform allow an electric engineering students of the Federal University of Campina Grande do an thermistor experiments to study its physical characteristics. Then, it used a device to data acquisition NI DAQ USB-6212 and it was implemented two actuator circuits responsible to experiment dynamic. The actuators was: power resistance 10  $\Omega$  / 50 W, it is used as stove to heat the sensor system (PTC or NTC and LM35) and a cooler to cool the stove. For facilitate the experiment execute, was implemented a graphic interface with LabVIEW. After the experimental tests, it was possible to acquire the data to plot characteristic curve, and then, to get the behavior equation of sensors.*

**Key-words:** *Data acquirement, Electronic Instrumentation, Electric Resistance, Temperature, Thermistor.*