



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

JAKSON DOS SANTOS SILVA

**ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO DE SENSORES TERMO-RESISTIVOS NO
AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO DO MATLAB**

CARAÚBAS/RN

2018

JAKSON DOS SANTOS SILVA

**ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO DE SENSORES TERMO-RESISTIVOS NO
AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO DO MATLAB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido -
UFERSA, Campus Caraúbas, para a obtenção
do Título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Walber Medeiros Lima

CARAÚBAS/RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586e Silva, Jakson dos Santos .
ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO DE SENSORES TERMO-
RESISTIVOS NO AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO DO MATLAB /
S586e ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO DE SENSORES TERMO-
RESISTIVOS NO AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO DO MATLAB /
Jakson dos Santos Silva. - 2018.
54 f. : il.

Orientador: Walber Medeiros Lima.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

1. Sensores termo-resistivos. 2. Caracterização
estática. 3. Caracterização dinâmica. I. Lima,
Walber Medeiros , orient. II. Título.

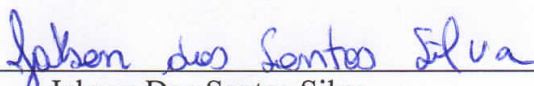
O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JAKSON DOS SANTOS SILVA

**ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO DE SENSORES TERMO-RESISTIVOS NO
AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO DO MATLAB**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Caraúbas como requisito para
obtenção do título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

Aprovado em: 17 / 09 / 2018

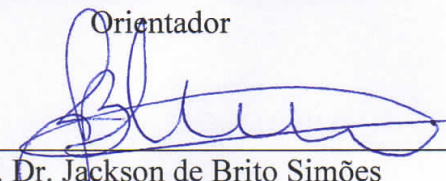


Jakson Dos Santos Silva

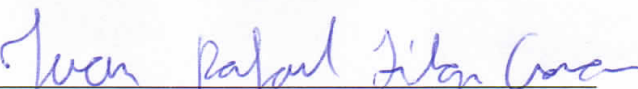
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Walber Medeiros Lima
Orientador



Prof. Dr. Jackson de Brito Simões
Examinador Interno



Prof. Me. Juan Rafael Filgueira Guerra
Examinador Externo

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, em especial aos meus pais que tanto amo: José Abdias da Silva e Maria Francinete dos Santos Silva.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado forças para vencer todos os momentos difíceis ao longo desta jornada.

A minha família que é a base do meu crescimento, sendo meus pais José Abdias da Silva e Maria Francinete dos Santos Silva, que por muitas vezes desistiram dos seus sonhos para viverem o meu.

A meu orientador em especial, Walber Medeiros Lima, por toda atenção, orientação, compromisso, sabedoria e apoio dado para a realização do trabalho.

A minha namorada Juliana Brito, pessoa que compartilho minhas alegrias, tristezas e conquistas.

A todos os meus amigos da minha cidade Campo Grande-RN, que sempre me apoiaram, incentivaram e torceram por mim ao longo desta jornada.

A meus colegas de curso, Naiane Silva, Regiano Lima, Giovanni Barbosa, Antônio Juscelino, Antônio Tadeu, Matheus Justino, Oziana Medeiros, Roserlange Freitas, Maria Eliza, Rafaela Rithelly, Cícero Eduardo, Wisla Milena, Karine Pérsia, Walef de Oliveira, Luís de Carvalho, Aquiles de Oliveira, Gleidson Leite, Mara Alice, Sávio Gomes, Danilo Luan, Lucas Duarte, José Rubens, Sebastião Augusto e José Jefferson, que sempre se fazem presente diariamente e contribuem diretamente ou indiretamente.

A todos os docentes que colaboraram com conhecimentos repassados, o que resultou para o meu crescimento acadêmico.

Por fim, a todos que contribuíram de alguma forma nessa trajetória, obrigado!

“O que sabemos é uma gota, o que ignoramos
é um oceano. ”

Isaac Newton.

RESUMO

O presente trabalho aborda o estudo sobre a caracterização dos sensores termo-resistivos PTC e NTC no ambiente de programação do *software* Matlab. A caracterização tem como finalidade determinar os parâmetros do sensor que determina a resposta temporal do sensor. Para realizar a caracterização destes sensores termo-resistivos foram realizados ensaios térmicos relacionados aos seus comportamentos estático e dinâmico, onde são conhecidos como caracterização estática e dinâmica, respectivamente. A caracterização estática é dividida em 2 (dois) ensaios. No primeiro ensaio, determina-se a resistência elétrica do sensor à temperatura ambiente e o coeficiente térmico. No segundo ensaio, determina-se a condutância térmica do sensor. Na caracterização dinâmica, determina-se a constante de tempo. Com os resultados obtidos dos ensaios térmicos e ferramentas computacionais de ajuste de curva, obteve-se as caracterizações dos sensores termo-resistivos. Os resultados alcançados apresentaram-se satisfatórios com uma razoável concordância com o embasamento teórico deste trabalho, comprovando a veracidade dos dados experimentais.

Palavras-chaves: Sensores termo-resistivos. Caracterização estática. Caracterização dinâmica.

ABSTRACT

The present work addresses the study about the characterization of the thermo-resistive sensors, PTC and NTC, in the Matlab software programming environment. The characterization has as finality is to determine the parameters of the sensor that determines the temporal response of the sensor. In order to perform the characterization of these thermo-resistive sensors, thermal rehearsals were performed related to their static and dynamic behavior, where they are known as static and dynamic characterization, respectively. The static characterization is divided into 2 (two) rehearsals. In the first rehearsal, it is determined the electrical resistance of the sensor at ambient temperature and the thermal coefficient are determined. In the second rehearsal, it is determined the thermal conductance of the sensor. In the dynamic characterization, it is determined the time constant. With the results obtained of the thermal rehearsals and computational tools of curve fitting, it was obtained the characterizations of the thermo-resistive sensors. The results reached presented themselves satisfactory with a reasonable agreement with the theoretical basement of this work, proving the veracity of the experimental data.

Keywords: *Thermo-resistive sensors. Static characterization. Dynamic characterization.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática do ensaio térmico para determinar R_0 e β	18
Figura 2 - Representação esquemática do ensaio térmico para determinar G_{th}	20
Figura 3 - Representação esquemática do ensaio térmico para determinar τ	21
Figura 4 – Gráfico da curva de aquecimento para determinar τ	22
Figura 5 – Representação esquemática do método de medição da resistência elétrica à 4 fios.	22
Figura 6 - Vista frontal do sistema de aquisição de dados da Agilent 34972A.....	23
Figura 7 - Banho Ultratermostático SL 152.	24
Figura 8 - Princípio de funcionamento do termopar baseado no efeito Seebeck.	25
Figura 9 - Fone de alimentação de corrente contínua tripla 2231A-30-3.....	25
Figura 10 – Fotografia do primeiro ensaio experimental do ensaio estático.....	27
Figura 11 – Fotografia do segundo ensaio experimental do ensaio estático.	28
Figura 12 - fotografia do ensaio experimental do ensaio dinâmico.	29
Figura 13 - Gráfico da curva característica $R_s \times T_s$ do sensor PTC.....	38
Figura 14 - Gráfico da curva característica $R_s \times T_s$ do sensor NTC.	39
Figura 15 - Curva $I_s V_s \times (T_s - T_0)$ para o sensor PTC.	40
Figura 16 - Curva $I_s V_s \times (T_s - T_0)$ para o sensor NTC.....	41
Figura 17 - Curva de aquecimento para o sensor PTC.....	45
Figura 18 - Curva de aquecimento para o sensor NTC.	46
Figura 19 – Diagrama de blocos para o sensor PTC.	48
Figura 20 - Diagrama de blocos para o sensor NTC.	49
Figura 21 - Resultado da simulação para o sensor PTC.....	50
Figura 22 - Resultado da simulação para o sensor NTC.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor PTC.	31
Tabela 2 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor PTC.	32
Tabela 3 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor PTC.	33
Tabela 4 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor PTC.	34
Tabela 5 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor NTC.....	35
Tabela 6 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor NTC.....	36
Tabela 7 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor NTC.....	37
Tabela 8 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor NTC.....	38
Tabela 9 - Dados do segundo ensaio experimental do ensaio estático para os sensores.....	40
Tabela 10 - Dados experimentais do ensaio dinâmico para o sensor PTC.....	42
Tabela 11 - Dados experimentais do ensaio dinâmico para o sensor NTC.	42
Tabela 12 - Dados experimentais do ensaio dinâmico para o sensor NTC.	43
Tabela 13 - Dados experimentais do ensaio dinâmico para o sensor NTC.	44
Tabela 14 – Valores dos parâmetros dos sensores.	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

α	Coeficiente de transmissividade absorvida do sensor
A	Área da superfície do sensor
AC	<i>Alternating Current</i> (Corrente Alternada)
β	Coeficiente térmico da resistência elétrica do sensor
c	Calor específico do sensor
CC	Corrente Contínua
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua)
G_{th}	Condutância Térmica do sensor
GUI	<i>Graphical User Interface</i> (Interface gráfica do usuário)
GPIO	<i>General Purpose Interface Bus</i> (Barramento de Interface de Propósito Geral)
H	Radiação incidente
I_s	Corrente elétrica do sensor
m	Massa do sensor
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i> (Coeficiente de temperatura negativo)
P1	Fio condutor
P2	Fio condutor
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i> (Coeficiente de temperatura positivo)
PID	Proporcional-Integral-Derivativo
R_0	Resistência elétrica do sensor à temperatura ambiente
R_s	Resistência elétrica do sensor
τ	Constante de tempo do sensor
T_0	Temperatura de referência
T_s	Temperatura do sensor
U	Coeficiente de transferência de calor na superfície do sensor
USB	<i>Universal Serial Bus</i> (Barramento serial universal)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 SENSORES TERMO-RESISTIVOS	16
2.2 CARACTERIZAÇÃO DE SENSORES TERMO-RESISTIVOS	17
2.2.1 CARACTERIZAÇÃO ESTÁTICA.....	18
2.2.2 CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA.....	20
2.3 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA.....	22
2.4 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	23
2.5 BANHO ULTRATERMOSTÁTICO.....	23
2.6 TERMOPARES.....	24
2.7 FONTE DE ALIMENTAÇÃO.....	25
2.8 SIMULINK	26
3 METODOLOGIA PARA A CARACTERIZAÇÃO DOS SENSORES	27
3.1 ENSAIO ESTÁTICO	27
3.2 ENSAIO DINÂMICO	29
3.3 SIMULAÇÃO DAS RESPOSTAS DOS SENSORES NO SIMULINK.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
4.1 RESULTADOS DO ENSAIO ESTÁTICO	31
4.2 RESULTADOS DO ENSAIO DINÂMICO	41
4.3 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NO SIMULINK	46
5 CONCLUSÕES.....	51
6 TRABALHOS FUTUROS	52
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os processos físicos, que estão relacionados as mais distintas áreas, como científicas, médicas, indústrias, dentre outras, têm dependências no conhecimento e monitoramento de algumas grandezas físicas que a elas são associadas (FRANÇA, 1998). Uma das grandezas mais medida é a temperatura, devido a maioria dos processos sofrerem influência através dela (GABRIEL, 2004). A temperatura é uma grandeza física associada a diversos fenômenos, físicos ou químicos, que podem ser modificados em função da temperatura (COSTA, 2005).

No ano de 1821, o químico britânico Humphrey Davy percebeu que a resistividade dos metais exibía uma alta ligação com a temperatura. Por volta de 1861, o britânico William Siemens propôs o uso de termômetros de resistência de platina, de maneira que a medição da temperatura seria obtida através da variação da resistência elétrica de um fio de platina em termos da temperatura (ANACLETO, 2007).

Neste sentido, os sensores termo-resistivos são dispositivos sensíveis a temperatura, onde a principal característica é exibir mudanças na sua resistência elétrica em função da temperatura. Esta característica possibilitou aplicações em diversas áreas como: a instrumentação eletrônica, a microeletrônica, a instrumentação biomédica, a mecânica dos fluidos e dentre outros. Assim, esses sensores são usados basicamente na medição de temperatura e radiação térmica (GABRIEL, 2004).

Os materiais que são normalmente utilizados na composição desses sensores, são condutores e semicondutores, onde historicamente os metais condutores surgiram primeiro, e esse tipo de sensor foi denominado de termo-resistências. Em seguida, apareceram os sensores compostos por semicondutores, designados de termistores, onde se difere na forma com que a resistência elétrica varia em função da temperatura, em relação aos condutores. Para os semicondutores a resistência varia de forma não linear. Já nos metais condutores a resistência cresce aproximadamente linear (ANACLETO, 2007).

Os resistores feitos de carbono e os que apresentam na sua composição determinados tipos de metal, como exemplo, prata, ouro, alumínio e cobre, não são considerados termo-resistências, pois sua resistência elétrica apresenta baixa variação em função da temperatura. Já os resistores construídos com base de metais, como por exemplo, a platina, e os que apresentam materiais semicondutores na sua composição, esses apresentam variações consideráveis na sua resistência elétrica em função da temperatura, e são considerados termistores (COSTA, 2005).

Existe uma diversidade de sensores de temperatura, onde cada um possui características diferentes em relação ao princípio de operação, como exemplo, efeito termoelétrico, dilatação térmica e outros. Contudo, devido às vantagens, tais como: sua capacidade térmica baixa, sensibilidade alta e baixo custo, os sensores termo-resistivos ganharam atenção especial, sendo mais utilizados na medição de temperatura (GABRIEL, 2004). Portanto, neste trabalho apresenta o estudo da caracterização dos sensores termo-resistivos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a caracterização dos sensores termo-resistivos no ambiente de programação do *software* Matlab.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a caracterização dos sensores termo-resistivos PTC e NTC;
- Realizar o ensaio térmico para a caracterização estática dos sensores termo-resistivos;
- Realizar o ensaio térmico para a caracterização dinâmica dos sensores termo-resistivos;
- Simular as respostas dos sensores termo-resistivos, com os parâmetros obtidos dos ensaios térmicos para a caracterização estática e dinâmica dos sensores termo-resistivos, no ambiente de programação do *software* Matlab.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SENSORES TERMO-RESISTIVOS

Os sensores termo-resistivos são classificados de acordo com o seu coeficiente de temperatura, que pode apresentar variações distintas na resistência elétrica de acordo com o aumento da temperatura. Se a resistência elétrica aumenta com o crescimento da temperatura, esse tipo de sensor é chamado de PTC (*Positive Temperature Coefficient*), que quer dizer coeficiente de temperatura positivo. E se a resistência elétrica decresce com o aumento da temperatura, esse tipo de sensor é chamado de NTC (*Negative Temperature Coefficient*), que quer dizer coeficiente de temperatura negativo (GABRIEL, 2004).

Estes sensores recebem ou perdem energia, através da diferença de temperatura entre ele e o meio onde está inserido, como também, podem receber por efeito joule essa energia. Esta transferência é realizada através da transmissão de calor, ocorrendo por condução, radiação e convecção (GABRIEL, 2004).

Na transferência por condução, a transmissão de energia é feita através do contato molecular direto, sem que haja transporte de massa, e tem dependência da diferença de temperatura e do meio físico. Já a transferência de calor por radiação, temos uma independência do meio físico, que ocorre no sentido do corpo de temperatura mais elevado para o outro de temperatura inferior. E por último, a transferência de calor por meio da convecção, que relaciona a condução de calor e a movimentação das moléculas, devido a diferença de densidade provocada pela mudança de temperatura, que pode ser livre ou forçada (GABRIEL, 2004).

Desta forma, os termistores PTC e NTC quando estimulados por potência elétrica e radiação incidente, apresentam um comportamento descrito por 2 (duas) equações. A primeira, apresentada na Equação 1, expõe o comportamento térmico derivado da 1ª lei da termodinâmica, na qual relaciona a energia entregue ao sensor com a energia perdida para o meio e com sua variação de energia interna. Esta equação, por sua vez, é válida para os 2 (dois) tipos de termistores.

$$\alpha AH + R_s I_s^2 = UA(T_s - T_0) + mc \frac{dT_s}{dt} \quad (1)$$

Onde o termo α é o coeficiente de transmissividade absorvida do sensor [$s^{-1}.m^{-2}$], A é a área da superfície do sensor [m^2], H é a radiação incidente [J], $R_s I_s^2$ é a potência elétrica [W], U é o coeficiente de transferência de calor na superfície do sensor [$W/K.m^2$], T_s é a temperatura do sensor [K], T_0 é a temperatura de referência [K], que será considerada neste trabalho como a temperatura ambiente de $298K$, m é a massa do sensor [Kg], c é o calor específico do sensor [$J/K.Kg$], αAH é a radiação absorvida pelo sensor por unidade de tempo [W], $UA(T_s - T_0)$ é a energia perdida pelo sensor para o meio ambiente por unidade de tempo [W] e $mc \frac{dT_s}{dt}$ é a variação de energia interna do sensor por unidade de tempo [W].

A segunda equação está relacionada com a variação da resistência elétrica, devido a mudança de temperatura do sensor, onde cada termistor apresenta um tipo de equação. Nas Equações 2 e 3, apresentam-se as segundas equações para os termistores PTC e NTC, respectivamente.

$$R_s = R_0[1 + \beta(T_s - T_0)] \quad (2)$$

$$R_s = R_0 e^{\beta(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_0})} \quad (3)$$

Onde o termo R_s é a resistência elétrica do sensor [Ω], R_0 é a resistência elétrica do sensor à temperatura ambiente [Ω] e β é o coeficiente térmico da resistência elétrica do sensor, que para os termistores PTC e NTC suas dimensões são K^{-1} e K , respectivamente.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DE SENSORES TERMO-RESISTIVOS

A caracterização dos termistores tem a finalidade de determinar os parâmetros do sensor e, em seguida, conhecer sua resposta temporal e seu ponto de operação (FRANÇA, 1998). Estes parâmetros, por sua vez, são utilizados na construção dos sensores, como também para simulação de sistemas de medição que utilizam estes dispositivos (SANTOS, 2012).

Para realizar a caracterização dos termistores, é preciso fazer ensaios que relacionem seu comportamento estático e dinâmico, que são conhecidos por caracterização estática e dinâmica, respectivamente.

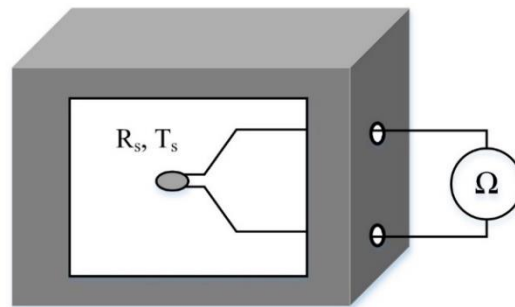
2.2.1 CARACTERIZAÇÃO ESTÁTICA

Na caracterização estática, são determinados a resistência elétrica do sensor à temperatura ambiente (R_0), o coeficiente térmico (β) e a condutância térmica (G_{th}) para os termistores PTC e NTC (GABRIEL, 2004). Para isto, são necessários 2 (dois) ensaios experimentais, onde o primeiro será responsável por determinar os parâmetros R_0 e β . E o segundo determinará o parâmetro G_{th} (SANTOS, 2012).

A condutância térmica (G_{th}), representada pelo termo UA na Equação 1, está relacionada a dissipação de calor e, além disso, é responsável por determinar a que taxa a potência dissipa em função da mudança de temperatura (FERREIRA, 2008).

Na Figura 1, apresenta-se a representação esquemática do primeiro ensaio experimental do ensaio estático. Para este ensaio, deve-se fazer medições da resistência elétrica do sensor num ambiente de temperatura controlada. A temperatura deve ser controlada e ajustada para diferentes valores, onde a medição será feita na condição de equilíbrio térmico do sensor com o meio em que está inserido, de modo que para cada valor registrado de T_s se tem um valor correspondente de R_s (SANTOS, 2012).

Figura 1 - Representação esquemática do ensaio térmico para determinar R_0 e β .



Fonte: Adaptado de SANTOS (2012).

Com isso, é possível determinar os parâmetros R_0 e β através da relação de 2 (dois) pares dos valores de T_s e R_s , e das Equações 2 e 3 para os sensores PTC e NTC, respectivamente.

Para o termistor PTC, a equação que determinar o valor de β é gerada através dos pares (T_{S1}, R_{S1}) e (T_{S2}, R_{S2}) e da Equação 2 como apresentada na Equação 4.

$$\beta = \frac{R_{s2} - R_{s1}}{R_{s1}(T_{s2} - T_0) - R_{s2}(T_{s1} - T_0)} \quad (4)$$

O valor de R_0 pode ser obtido através de β e dos pares (T_{s1}, R_{s1}) ou (T_{s2}, R_{s2}) , como apresentada na Equação 5, que também derivou da Equação 2.

$$R_0 = \frac{R_{s1}}{1 + \beta(T_{s1} - T_0)} = \frac{R_{s2}}{1 + \beta(T_{s2} - T_0)} \quad (5)$$

Para o termistor NTC, a equação que determinar o valor de β é gerada através dos pares (T_{s1}, R_{s1}) e (T_{s2}, R_{s2}) e da Equação 3 como apresentada na Equação 6.

$$\beta = \frac{T_{s1}T_{s2}}{T_{s2} - T_{s1}} \ln\left(\frac{R_{s1}}{R_{s2}}\right) \quad (6)$$

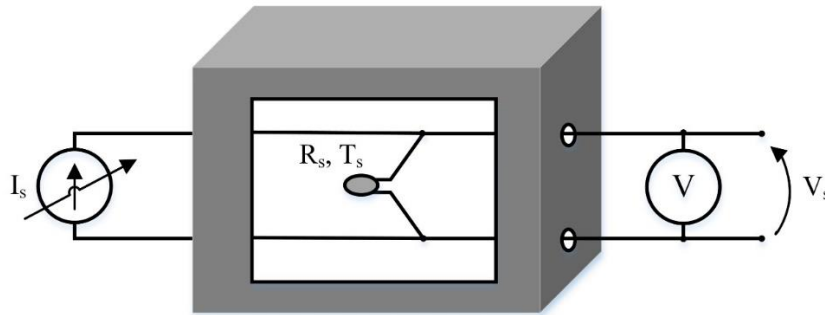
De modo análogo ao termistor PTC, o valor de R_0 para o termistor NTC pode ser obtido através de β e dos pares (T_{s1}, R_{s1}) ou (T_{s2}, R_{s2}) , como apresentada na Equação 7, que também derivou da Equação 3.

$$R_0 = \frac{R_{s1}}{e^{\beta\left(\frac{1}{T_{s1}} - \frac{1}{T_0}\right)}} = \frac{R_{s2}}{e^{\beta\left(\frac{1}{T_{s2}} - \frac{1}{T_0}\right)}} \quad (7)$$

Além desta maneira, os parâmetros R_0 e β podem ser obtidos com uma maior precisão, ao usar uma quantidade maior de pares (T_s, R_s) , através de ferramentas computacionais de ajuste de curva para definir um melhor modelo da relação.

Na Figura 2, apresenta-se a representação esquemática do segundo ensaio experimental do ensaio estático. Neste ensaio o sensor deve ser inserido num ambiente de temperatura constante e, em seguida, aquecido por efeito Joule, através de uma corrente elétrica contínua que deverá assumir variados valores durante o ensaio, para determinar G_{th} (SANTOS, 2012).

Figura 2 - Representação esquemática do ensaio térmico para determinar G_{th} .



Fonte: Adaptado de SANTOS (2012).

Considerando-se a radiação incidente nula, a resistência elétrica do sensor é calculada usando a lei de Ohm, a partir do valor da corrente elétrica aplicada ao sensor e da tensão elétrica medida. Através da resistência elétrica calculada no sensor, determina-se a temperaturas T_s , relacionada a cada corrente elétrica aplicada, por meio das Equações 2 e 3, que descrevem o comportamento da resistência elétrica devido a mudança de temperatura, para o sensor PTC e NTC, respectivamente (SANTOS, 2012).

Na Equação 1, observa-se que os termos dT_s/dt e αAH são nulos quando o sensor está nas condições de regime estacionário e ausência de radiação incidente. Assim, com estas condições e considerando a potência elétrica como o produto $I_s V_s$, a Equação 1 pode ser rearranjada para a Equação 8.

$$I_s V_s = G_{th}(T_s - T_0) \quad (8)$$

Na Equação 8, observa-se que a inclinação na curva experimental $I_s V_s \times (T_s - T_0)$ representa o valor da condutância térmica (G_{th}).

2.2.2 CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA

Na caracterização dinâmica, determina-se a constante de tempo (τ) para os termistores PTC e NTC. Esta constante é uma propriedade intrínseca dos sensores, onde é definida como o tempo que sensor leva para atingir 63,2% do valor final de temperatura, em estado estacionário, após ter sido aplicado um degrau de potência elétrica (FERREIRA, 2008).

Para França (1998), “Conhecer a constante de tempo do sensor, implica em saber quanto tempo o sensor leva para responder a uma entrada em degrau”. Além disso, a

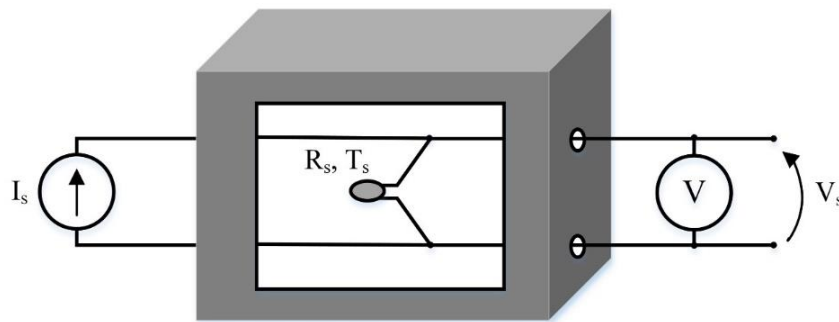
constante de tempo (τ), relaciona-se com a capacidade térmica (C_{th}) e a condutância térmica (G_{th}), como apresentado na Equação 9.

$$\tau = \frac{C_{th}}{G_{th}} = \frac{mc}{UA} \quad (9)$$

A capacidade térmica, representada pelo termo mc na Equação 1, é responsável por quantificar a quantidade de energia, em forma de calor, que um corpo precisa transferir ou receber, para que sua temperatura altere em uma unidade (ANACLETO, 2007).

Na Figura 3, apresenta-se a representação esquemática do ensaio dinâmico. Neste ensaio o sensor deve ser inserido num ambiente de temperatura constante e aquecido por efeito Joule, através de uma corrente elétrica contínua.

Figura 3 - Representação esquemática do ensaio térmico para determinar τ .

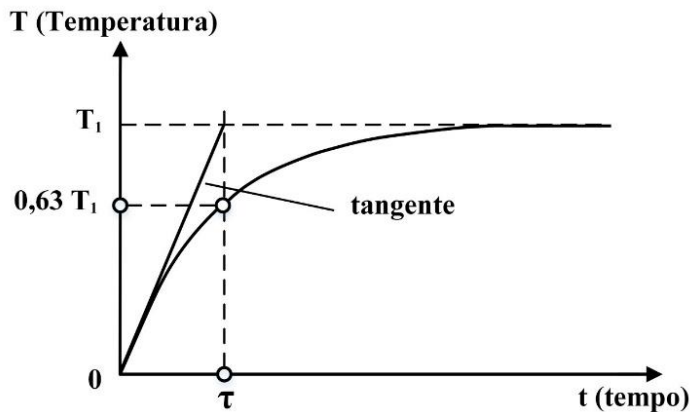


Fonte: Adaptado de SANTOS (2012).

As resistências elétricas do sensor são calculadas usando a lei de Ohm, a partir do valor da corrente elétrica aplicada ao sensor e das tensões elétricas medidas a cada instante de tempo. Através dessas resistências elétricas, determina-se as temperaturas T_s para cada instante de tempo, por meio das Equações 2 e 3, que descrevem o comportamento da resistência elétrica devido a mudança de temperatura, para o sensor PTC e NTC, respectivamente.

Através da curva de aquecimento, ilustrada na Figura 4, é determinado a constante de tempo (τ) para os termistores PTC e NTC.

Figura 4 – Gráfico da curva de aquecimento para determinar τ .

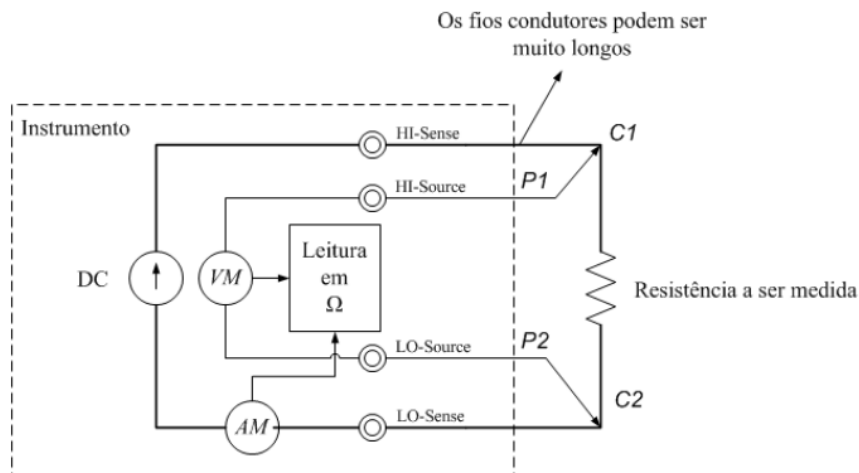


Fonte: Adaptado de FERREIRA (2008).

2.3 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

O método dos 4 fios, ilustrado na Figura 5, é bastante utilizado devido ao fato de eliminar a resistência dos fios conectados ao multímetro e possibilitar medir valores muito baixos de resistência elétrica (de Ω , $m\Omega$ ou $\mu\Omega$) com bastante precisão. Nesse método, a fonte de corrente DC fornece uma corrente elétrica estabilizada, medida pelo amperímetro (AM), que passa pela resistência a ser medida. Essa corrente faz gerar uma tensão na resistência, a qual é medida com um voltímetro (VM) de alta impedância por meio dos 2 (dois) fios condutores P1 e P2. Desta forma, a resistência dos condutores exerce um efeito desprezível sobre a resistência a ser medida.

Figura 5 – Representação esquemática do método de medição da resistência elétrica à 4 fios.



Fonte: LIMA (2008).

2.4 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Na Figura 6, ilustra-se a vista frontal do sistema de aquisição de dados da Agilent 34972A. Este dispositivo combina precisão de 6½ dígitos, velocidade leituras de até 500 dados por segundo em um único canal, flexibilidade nas medições direta de termopares, tensão DC e AC, resistência, corrente DC e AC, estabilidade e rejeição de ruído (TESTWORLD, 2012).

O sistema de aquisição realiza uma comunicação com o PC via interface GPIB, RS-232 e USB, onde os dados são registrados e armazenados no *Software BenchLink Data Logger 3* da Agilent. A maneira como este instrumento registra os dados faz com ele se torne uma solução versátil para ensaios experimentais (TESTWORLD, 2012).

Figura 6 - Vista frontal do sistema de aquisição de dados da Agilent 34972A.



Fonte: TESTWORLD (2012)

2.5 BANHO ULTRATERMOSTÁTICO

O Banho Ultratermostático, ilustrado na Figura 7, é um equipamento destinado a ensaios térmicos. Este banho pode variar a temperatura de um fluido, inserido na parte superior, de -10 a 100°C através de um controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) (SOLAB, 2013).

Figura 7 - Banho Ultratermostático SL 152.



Fonte: SOLAB (2013).

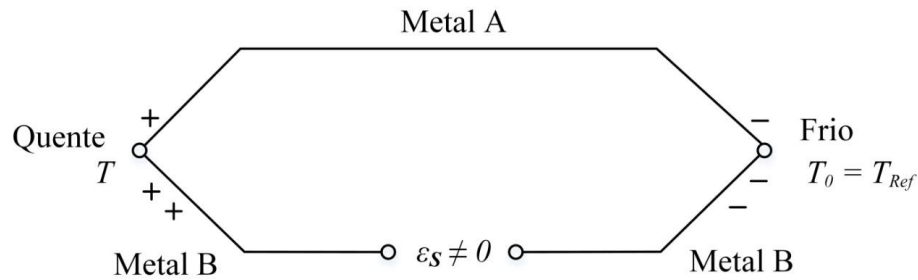
2.6 TERMOPARES

Os termopares são sensores utilizados para medições da temperatura. Devido à sua vasta variedade de modelos (T, J, E, K, S, R, B e N) é extremamente importante entender a sua estrutura básica, seu funcionamento, sua faixa de temperatura, suas características e restrições.

Um termopar é composto por pelo menos 2 (dois) metais unidos para formar 2 (duas) junções. Um está conectado ao corpo cuja temperatura deve ser medida, esta é a junção quente ou de medição. A outra junção está conectada a um corpo de temperatura conhecida, esta é a junção de frio ou de referência. Portanto, o termopar mede a temperatura desconhecida do corpo com referência à temperatura conhecida do outro corpo (NOVUS, 2003).

O princípio de funcionamento do termopar é baseado em 2 (dois) efeitos descobertos por Seebeck e Peltier. Denominamos por efeito Seebeck, ilustrado na Figura 8, a geração de eletricidade a partir da diferença de temperaturas. O efeito inverso, ou seja, a geração de diferença de temperatura a partir de eletricidade é denominada efeito Peltier (ANACLETO, 2007).

Figura 8 - Princípio de funcionamento do termopar baseado no efeito Seebeck.



Fonte: Adaptado de ANACLETO (2007).

2.7 FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Na Figura 9, ilustra-se a fonte de alimentação de corrente contínua Tripla 2231A-30-3 da Tektronix, que fornece níveis de potência que pode energizar uma série de dispositivos e circuitos para trabalho de bancada. Essa fonte pode produzir uma potência total de 195 W através de seus canais, onde 2 (dois) podem fornecer até 30V ou 3A cada e o terceiro pode fornecer até 5V ou 3A (TEKTRONIX AND KEITHLEY, 2018).

Quando está diante de uma aplicação que necessita de uma saída superior a 30V ou 3A, os canais dessa fonte podem ser conectados de uma maneira a fornecer o nível de saída necessário. Assim, se conectar os 2 (dois) canais de 30V em série, a saída pode fornecer até 60V, ou se a conectar em paralelo a saída pode fornecer até 6A. E se conectar um canal de 30V em série com o canal de 5V, a saída pode fornecer até 35V e se for conectado em paralelo a saída pode fornecer até 6A.

Figura 9 - Fone de alimentação de corrente contínua tripla 2231A-30-3



Fonte: TEKTRONIX AND KEITHLEY (2018).

2.8 SIMULINK

O SIMULINK, desenvolvido pela companhia MathWork, é uma ferramenta utilizada para modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos. O programa se aplica a sistemas lineares e não lineares, discretos e contínuos no tempo.

O SIMULINK, apesar de ser uma ferramenta específica, não trabalha independentemente do *software* MATLAB. Ao contrário do *software* MATLAB, que utiliza linha de comando, o SIMULINK utiliza uma interface gráfica ao usuário (GUI), representando o sistema por diagramas de blocos, no qual cada bloco representa uma operação matemática de entrada e saída que se chama função de transferência do bloco.

Através do *software* SIMULINK é possível verificar diferentes aplicações na área de engenharia, em que esse *software* permite visualizar elementos que compõem um sistema dinâmico. Com isso, pode-se fazer uma modelagem matemática de equações diferenciais para diversas aplicações, e utilizar essa modelagem para simular graficamente (LOBO, 2017).

3 METODOLOGIA PARA A CARACTERIZAÇÃO DOS SENSORES

Para realizar a caracterização dos sensores PTC da marca COEL e NTC da marca Full Gauge, foram realizados 2 (dois) ensaios térmicos. O primeiro determina os parâmetros que estão relacionados ao comportamento estático do sensor, conhecido por caracterização estática. O segundo ensaio determina os parâmetros relacionados ao comportamento dinâmico, conhecido por caracterização dinâmica.

3.1 ENSAIO ESTÁTICO

Na Figura 10, apresenta-se a fotografia do primeiro ensaio experimental do ensaio estático. Para realizar este ensaio foram utilizados o sistema de aquisição de dados da Agilent 34972A, o Banho Ultratermostático SL 152 com água destilada, o termopar tipo K e os termistores PTC e o NTC.

Figura 10 – Fotografia do primeiro ensaio experimental do ensaio estático.



Fonte: Autoria própria (2018).

Primeiramente, os sensores PTC e NTC juntamente com termopar tipo K foram inseridos nos canais do sistema de aquisição da Agilent 34972A, da seguinte maneira: o termopar foi inserido no canal 101, o sensor PTC no canal 103 e sensor NTC no canal 105. Em seguida, esses sensores e o termopar foram submersos na água destilada do Banho Ultratermostático SL 152.

Ao configurar o Banho Ultratermostático para controlar temperatura da água destilada de 273 a 373K, as leituras dos dados foram realizadas através do sistema de aquisição de dados a cada 10 segundos, adquirindo os valores da temperatura do termopar e das resistências elétricas dos sensores PTC e NTC. Para a medição da resistência elétrica dos sensores foi utilizado o método dos 4 (quatro) fios.

Com os dados experimentais da temperatura e resistência elétrica dos sensores PTC e NTC, plotou-se as curvas características para cada sensor no *software* Matlab, objetivando obter os parâmetros R_0 e β .

Na Figura 11, apresenta-se a fotografia do segundo ensaio experimental do ensaio estático. Neste ensaio foram utilizados o Banho Ultratermostático SL 152, uma Fonte de Alimentação CC Tripla 2231A-30-3, 2 (dois) multímetros da marca Agilent e os sensores PTC da COEL e o NTC da Full Gauge.

Figura 11 – Fotografia do segundo ensaio experimental do ensaio estático.



Fonte: Autoria própria (2018).

Os sensores foram submersos na água destilada do Banho Ultratermostático à temperatura constante de 298K. E, em seguida, aplicou-se variados degraus de corrente elétrica, de 1 até 12 mA, nos sensores, através da fonte de alimentação CC, e determinou-se a potência elétrica dos sensores para cada degrau aplicado, através dos multímetros que mediram os valores da tensão e corrente elétrica. Os degraus de corrente elétrica tiveram como intervalo 0,5 mA para a faixa de 1 a 10 mA, e 1 mA para a faixa de 10 a 12 mA. Além disso, determinou-se a resistência elétrica, a partir da lei de Ohm, referente a cada degrau de corrente elétrica aplicado. E, em seguida, determinou-se a temperatura dos sensores PTC e NTC ao serem aquecidos por efeito Joule, através das Equações 2 e 3, respectivamente.

Com os valores experimentais de temperatura e potência elétrica dos sensores PTC e NTC, plotou-se no *software* Matlab as curva experimentais $I_s V_s \times (T_s - T_0)$, de forma a determinar o parâmetro G_{th} para cada sensor.

3.2 ENSAIO DINÂMICO

Na Figura 12, apresenta-se a fotografia do ensaio experimental do ensaio dinâmico. Para realizar este ensaio foram utilizados o sistema de aquisição de dados da Agilent 34972A, o Banho Ultratermostático SL 152, uma Fone de Alimentação CC Tripla 2231A-30-3 e os sensores PTC da COEL e o NTC da Full Gauge.

Figura 12 - fotografia do ensaio experimental do ensaio dinâmico.



Fonte: Autoria própria (2018).

Primeiramente os sensores PTC e NTC foram inseridos nos canais do sistema de aquisição da Agilent 34972A, da seguinte maneira: o sensor PTC no canal 103 e o NTC no canal 105 para medir a tensão. Em seguida, os sensores foram submersos na água destilada do Banho Ultratermostático SL 152 à temperatura constante de 298K, onde foram submetidos a um degrau de corrente de 8 e 4,5 mA para cada tipo de sensor PTC e NTC, respectivamente, através da fonte de alimentação.

A leitura dos dados adquiridos foi realizada através do sistema de aquisição a cada 167 milissegundos, adquirindo os valores da tensão e corrente elétrica dos sensores PTC e NTC, no processo de aquecimento por efeito Joule devido a aplicação do degrau de corrente elétrica.

Através dos dados adquiridos da tensão e corrente elétrica, determinou-se a resistência elétrica, a cada instante de tempo, através da lei de Ohm para cada termistor. E, em seguida, determinou-se a temperatura, para cada instante de tempo, através das Equações 2 e 3 para os sensores PTC e NTC, respectivamente.

Com os valores experimentais da temperatura e do tempo de aquisição dos dados para os sensores PTC e NTC, plotou-se no *software* Matlab as curvas experimentais de aquecimento $T_s \times t$, para cada tipo de sensor, objetivando a obter a constante de tempo (τ) dos sensores.

3.3 SIMULAÇÃO DAS RESPOSTAS DOS SENSORES NO SIMULINK

Após a determinação dos parâmetros obtidos nos ensaios térmicos da caracterização estática e dinâmica dos sensores PTC e NTC, montou-se no *software* Simulink um diagrama de blocos para um sistema dinâmico. Portanto, utilizou-se blocos básicos existentes na biblioteca do *software* Simulink, onde foram inseridos os valores encontrados nos ensaios térmicos.

Através da simulação foi possível investigar o comportamento da resistência elétrica dos sensores PTC e NTC em relação ao tempo, quando são excitados por potência elétrica e radiação nula.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a caracterização e análise do tempo de resposta, que são fundamentais para determinar o ponto de operação dos sensores termo-resistivos, obteve-se os seguintes resultados.

4.1 RESULTADOS DO ENSAIO ESTÁTICO

Nas Tabelas 1 a 4, apresentam-se os dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor PTC. E nas Tabelas 5 a 8, apresentam-se os dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor NTC. Essas tabelas foram geradas através do sistema de aquisição de dados da Agilent 34972A, onde contém dados de temperatura e resistência elétrica do sensor.

Tabela 1 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor PTC.

CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 103: Resistência (Ω)	CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 103: Resistência (Ω)
273,84	816,4518	279,802	857,7373
274,029	816,8303	280,059	859,2965
274,476	818,8698	280,285	860,8583
274,867	821,6868	280,467	862,3170
275,371	824,5258	280,609	863,8916
275,69	827,3004	280,778	865,3671
275,977	829,8677	281,081	866,9482
276,339	832,1878	281,405	868,6593
276,622	834,5414	281,572	870,3344
277,025	836,6851	281,865	872,1111
277,293	838,6576	281,963	873,8828
277,423	840,5052	282,335	875,7072
277,69	842,2716	282,672	877,5097
277,849	844,0317	283,041	879,5311
278,222	845,7235	283,255	881,6929
278,379	847,2711	283,475	883,7567
278,585	848,8264	283,724	885,9507
278,790	850,3122	284,165	888,2296
278,975	851,7452	284,510	890,5059
279,257	853,2027	284,813	892,7797
279,446	854,6666	285,028	895,0483
279,614	856,1833	285,309	897,1804

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 2 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor PTC.

CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 103: Resistência (Ω)	CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 103: Resistência (Ω)
285,619	899,4438	300,655	1013,191
285,999	901,6146	301,022	1016,237
286,272	903,9296	301,431	1019,367
286,630	906,1621	301,872	1022,536
286,830	908,5723	302,262	1025,532
287,253	911,0212	302,534	1028,553
287,650	913,5100	302,975	1031,602
287,916	916,0322	303,426	1034,628
288,270	918,5853	303,790	1037,822
288,584	921,1063	304,211	1040,990
288,971	923,6221	304,422	1044,112
289,298	926,2770	304,914	1047,176
289,743	928,8829	305,246	1050,305
290,010	931,4953	305,678	1053,392
290,292	934,1952	306,083	1056,527
290,738	936,8900	306,514	1059,693
291,068	939,5268	306,891	1062,727
291,352	942,1623	307,201	1065,790
291,839	945,0361	307,627	1069,019
292,278	947,7953	308,026	1072,110
292,551	950,4321	308,278	1075,109
292,967	953,0972	308,775	1078,24
293,219	956,0277	309,080	1081,255
293,639	958,8576	309,523	1084,236
294,049	961,5794	309,757	1087,245
294,329	964,4351	310,177	1090,312
294,788	967,2703	310,591	1093,206
295,095	970,1968	310,913	1096,223
295,543	973,0525	311,234	1099,247
295,828	975,8812	311,689	1102,378
296,283	978,6905	311,939	1105,341
296,632	981,5153	312,419	1108,255
296,984	984,4290	312,716	1111,355
297,322	987,3105	312,969	1114,302
297,668	990,1868	313,479	1117,411
298,080	993,0541	313,802	1120,36
298,512	995,8596	314,083	1123,25
298,838	998,7578	314,506	1126,243
299,153	1001,724	314,829	1129,352
299,591	1004,553	315,242	1132,429
299,834	1007,400	315,547	1135,376
300,297	1010,124	315,878	1138,551

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 3 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor PTC.

CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 103: Resistência (Ω)	CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 103: Resistência (Ω)
316,312	1141,479	334,412	1299,751
316,657	1144,469	334,820	1303,752
317,045	1147,569	335,237	1307,985
317,314	1150,669	335,794	1312,076
317,791	1153,546	336,269	1316,167
318,065	1156,661	336,743	1320,412
318,390	1159,755	337,138	1324,594
318,878	1162,78	337,493	1328,544
319,215	1165,825	338,009	1332,738
319,610	1169,037	338,423	1336,880
320,065	1172,578	338,933	1341,139
320,362	1176,214	339,443	1345,294
320,830	1179,98	339,776	1349,398
321,288	1183,823	340,243	1353,502
321,806	1187,795	340,788	1357,645
322,203	1191,562	341,116	1361,813
322,707	1195,383	341,588	1366,033
323,085	1199,295	341,998	1370,176
323,571	1201,930	342,393	1374,357
323,963	1205,598	342,992	1378,487
324,352	1209,510	343,422	1382,616
324,852	1213,358	343,708	1386,644
325,361	1217,334	344,114	1390,915
325,774	1221,258	344,504	1394,955
326,146	1225,196	344,896	1398,905
326,728	1229,210	345,354	1402,983
327,106	1233,314	345,867	1407,049
327,558	1237,342	346,373	1411,243
327,951	1241,292	346,762	1415,283
328,485	1245,511	347,145	1419,246
328,978	1249,641	347,631	1423,248
329,489	1253,886	347,916	1427,519
329,802	1258,055	348,274	1431,341
330,371	1262,108	348,688	1435,304
330,766	1266,276	349,234	1439,267
331,221	1270,534	349,622	1443,473
331,707	1274,741	350,123	1447,372
332,178	1278,794	350,453	1451,528
332,740	1282,988	350,814	1455,478
333,106	1287,169	351,257	1459,390
333,719	1291,350	351,622	1463,340
334,004	1295,544	351,964	1467,162

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 4 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor PTC.

CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 103: Resistência (Ω)	CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 103: Resistência (Ω)
352,430	1471,279	365,722	1606,063
352,836	1475,242	366,551	1615,797
353,219	1479,090	366,866	1618,773
353,627	1482,874	367,094	1621,774
353,941	1486,811	367,385	1624,621
354,353	1490,736	367,631	1627,430
354,743	1494,622	367,957	1630,213
355,097	1498,418	365,987	1609,423
355,542	1502,189	366,311	1612,732
355,951	1506,036	368,209	1632,945
356,318	1509,858	368,491	1635,690
356,698	1513,642	368,707	1638,460
357,039	1517,259	368,953	1641,166
357,415	1520,991	369,231	1644,026
357,646	1524,697	369,444	1646,617
358,044	1528,455	369,784	1649,220
358,399	1532,188	369,993	1651,888
358,933	1535,74	370,142	1654,440
359,285	1539,434	370,512	1656,672
359,581	1543,128	370,738	1659,276
359,926	1546,719	370,909	1661,905
360,21	1550,284	371,036	1664,098
360,622	1553,875	371,203	1665,740
360,935	1557,479	371,365	1667,407
361,212	1560,955	371,500	1669,010
361,603	1564,457	371,591	1670,318
361,985	1567,984	371,755	1671,601
362,300	1571,511	371,885	1673,089
362,694	1575,012	372,014	1674,423
362,995	1578,347	372,150	1675,705
363,296	1581,669	372,182	1676,744
363,602	1585,183	372,256	1677,642
364,005	1588,825	372,243	1678,155
364,270	1592,250	372,246	1678,399
364,632	1595,636	372,262	1678,540
364,979	1599,214	372,215	1678,642
365,349	1602,715	372,205	1678,668

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 5 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor NTC.

CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 105: Resistência (Ω)	CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 105: Resistência (Ω)
273,840	31621,13	285,619	17805,37
274,029	31531,09	285,999	17552,98
274,476	31072,55	286,272	17293,70
274,867	30440,70	286,630	17049,24
275,371	29814,59	286,830	16787,91
275,690	29220,92	287,253	16530,55
275,977	28681,03	287,650	16271,27
276,339	28201,55	287,916	16012,88
276,622	27728,58	288,270	15758,32
277,025	27304,67	288,584	15510,28
277,293	26918,55	288,971	15266,96
277,423	26565,01	289,298	15017,90
277,690	26232,92	289,743	14775,48
277,849	25903,65	290,010	14535,23
278,222	25598,13	290,292	14296,76
278,379	25320,33	290,738	14063,28
278,585	25043,93	291,068	13836,96
278,790	24786,18	291,352	13614,46
278,975	24535,46	291,839	13381,36
279,257	24282,94	292,278	13159,50
279,446	24040,91	292,551	12948,37
279,614	23790,05	292,967	12744,52
279,802	23531,41	293,219	12525,22
280,059	23281,07	293,639	12314,85
280,285	23033,92	294,049	12115,6
280,467	22804,40	294,329	11913,8
280,609	22559,17	294,788	11716,34
280,778	22330,67	295,095	11517,85
281,081	22095,66	295,543	11326,77
281,405	21837,90	295,828	11141,32
281,572	21591,65	296,283	10960,72
281,865	21335,82	296,632	10783,31
281,963	21076,41	296,984	10605,26
282,335	20819,94	297,322	10430,91
282,672	20570,49	297,668	10260,27
283,041	20297,67	298,080	10094,36
283,255	20007,09	298,512	9931,255
283,475	19732,61	298,838	9773,834
283,724	19450,98	299,153	9612,694
284,165	19159,64	299,591	9461,456
284,510	18875,07	299,834	9311,820
284,813	18598,03	300,297	9170,739
285,028	18324,06	300,655	9018,590
285,309	18066,06	301,022	8868,596

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 6 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor NTC.

CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 105: Resistência (Ω)	CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 105: Resistência (Ω)
301,431	8718,011	317,791	4435,823
301,872	8568,812	318,065	4372,477
302,262	8429,167	318,39	4311,12
302,534	8291,716	318,878	4252,033
302,975	8156,881	319,215	4192,599
303,426	8025,227	319,61	4132,473
303,79	7889,61	320,065	4067,845
304,211	7757,661	320,362	4002,23
304,422	7630,188	320,83	3935,486
304,914	7506,986	321,288	3868,588
305,246	7384,335	321,806	3801,549
305,678	7264,968	322,203	3737,729
306,083	7146,743	322,707	3675,448
306,514	7030,415	323,085	3613,014
306,891	6919,525	323,571	3552,733
307,201	6811,124	323,963	3493,428
307,627	6700,593	324,352	3433,879
308,026	6594,796	324,852	3377,678
308,278	6492,91	325,361	3319,899
308,775	6391,447	325,774	3264,416
309,08	6294,435	326,146	3210,061
309,523	6200,141	326,728	3156,066
309,757	6106,913	327,106	3101,878
310,177	6014,158	327,558	3049,524
310,591	5926,56	327,951	2999,261
310,913	5838,846	328,485	2947,382
311,234	5752,543	328,978	2897,259
311,689	5665,612	329,489	2847,394
311,939	5582,4	329,802	2798,901
312,419	5503,099	330,371	2752,447
312,716	5420,952	330,766	2706,069
312,969	5343,96	331,221	2660,18
313,479	5264,634	331,707	2615,046
313,802	5189,092	332,178	2572,389
314,083	5117,205	332,740	2529,718
314,506	5044,548	333,106	2487,843
314,829	4971,083	333,719	2446,699
315,242	4899,491	334,004	2406,362
315,547	4830,118	334,412	2367,245
315,878	4759,013	334,82	2330,256
316,312	4693,359	335,237	2292,536
316,657	4627,731	335,794	2256,227
317,045	4561,487	336,269	2220,611
317,314	4496,526	336,743	2184,853

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 7 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor NTC.

CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 105: Resistência (Ω)	CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 105: Resistência (Ω)
337,138	2150,057	354,743	1182,564
337,493	2117,467	355,097	1168,045
338,009	2084,249	355,542	1153,912
338,423	2051,506	355,951	1139,727
338,933	2019,147	356,318	1125,99
339,443	1987,917	356,698	1112,549
339,776	1957,892	357,039	1099,493
340,243	1928,124	357,415	1086,744
340,788	1898,805	357,646	1074,111
341,116	1869,845	358,044	1061,491
341,588	1841,065	358,399	1049,281
341,998	1813,285	358,933	1037,443
342,393	1786,107	359,285	1025,618
342,992	1759,43	359,581	1014,011
343,422	1733,471	359,926	1002,878
343,708	1708,385	360,21	991,5515
344,114	1682,798	360,622	980,7917
344,504	1658,352	360,935	969,9122
344,896	1635,048	361,212	959,6224
345,354	1611,77	361,603	949,5334
345,867	1588,876	361,985	939,4135
346,373	1565,829	362,300	929,461
346,762	1543,833	362,694	919,7737
347,145	1522,53	362,995	910,5886
347,631	1501,419	363,296	901,4433
347,916	1479,872	363,602	892,2029
348,274	1460,082	364,005	882,7164
348,688	1440,421	364,27	873,6085
349,234	1420,862	364,632	864,8946
349,622	1401,047	364,979	855,6824
350,123	1382,501	365,349	846,8694
350,453	1363,494	365,722	838,5932
350,814	1345,255	365,987	830,384
351,257	1327,774	366,311	822,4812
351,622	1310,434	366,551	815,0098
351,964	1293,659	366,866	807,9503
352,43	1276,447	367,094	800,8973
352,836	1259,902	367,385	794,4017
353,219	1243,947	367,631	787,8303
353,627	1228,428	367,957	781,4699
353,941	1212,806	368,209	775,3581
354,353	1197,506	368,491	769,2025

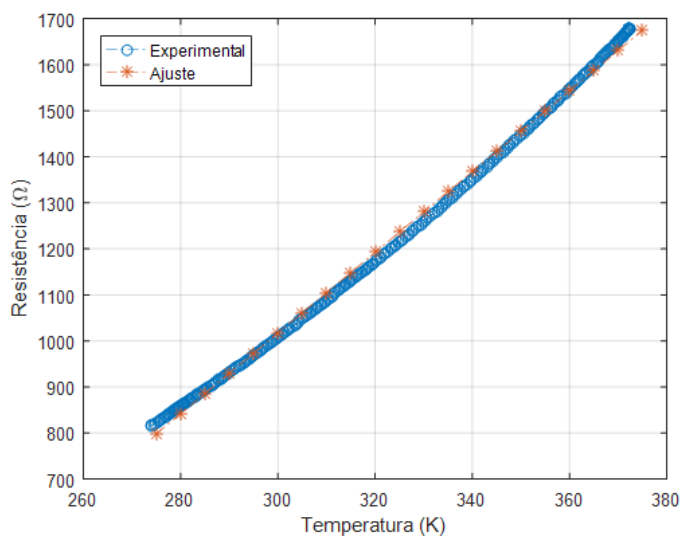
Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 8 – Dados do primeiro ensaio experimental do ensaio estático para o sensor NTC.

CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 105: Resistência (Ω)	CANAL 101: Temperatura (K)	CANAL 105: Resistência (Ω)
368,707	763,2709	371,500	699,8233
368,953	757,4552	371,591	697,0474
369,231	751,3678	371,755	694,4621
369,444	745,6229	371,885	691,7802
369,784	740,2629	372,014	689,2013
369,993	734,7588	372,150	686,6868
370,142	729,4259	372,182	684,4401
370,512	724,666	372,256	682,8217
370,738	719,5841	372,243	681,7569
370,909	714,3942	372,246	681,1994
371,036	709,7616	372,262	680,8698
371,203	706,2519	372,215	680,6341
371,365	702,9790	372,205	680,5852

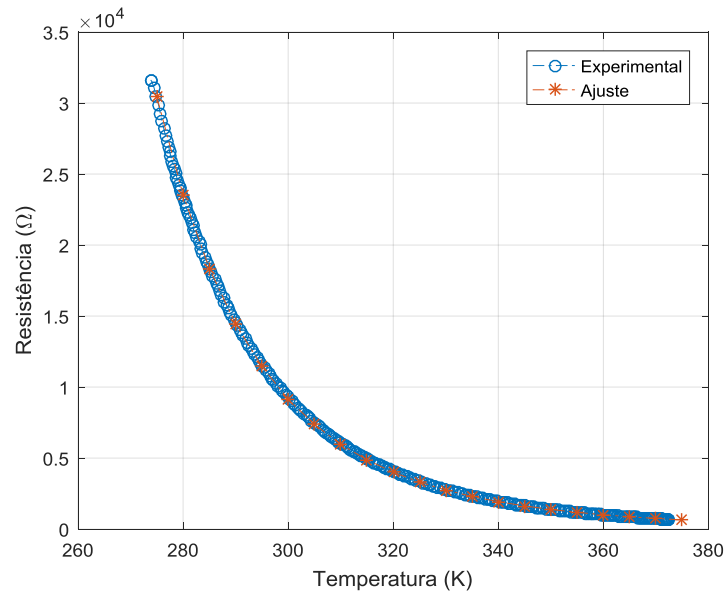
Fonte: Autoria própria (2018).

Com os dados das Tabelas 1 a 8, plotou-se no *software* Matlab os gráficos das curvas características $R_s \times T_s$ dos sensores PTC e NTC. Essas curvas são ilustradas nas Figuras 13 e 14 para os sensores PTC e NTC, que por sua vez apresentaram uma boa concordância com as Equações 2 e 3, para esses sensores, respectivamente. Para o sensor PTC o comportamento da curva característica foi linear, comprovando a validade da Equação 2, e para o sensor NTC o comportamento da curva característica foi exponencial decrescente, que entra em concordância com a Equação 3.

Figura 13 - Gráfico da curva característica $R_s \times T_s$ do sensor PTC.

Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 14 - Gráfico da curva característica $R_s \times T_s$ do sensor NTC.



Fonte: Autoria própria (2018).

Os dados das Tabelas 1 a 4 e das Tabelas 5 a 8 foram inseridos no *software* Origin, objetivando obter as equações que melhor se adaptam aos pontos das curvas ilustradas nas Figuras 13 e 14. Portanto, escolheu-se no *software* Origin modelos de equações semelhantes as Equações 2 e 3, para os sensores PTC e NTC, com $T_0 = 298K$.

Após obter as equações no *software* Origin, determinou-se os parâmetros R_0 e β para os sensores. Para o sensor PTC e NTC, obteve-se $R_0 = 1 K\Omega$ e $\beta = 0,0088 K^{-1}$ e $R_0 = 10 K\Omega$ e $\beta = 3966,4179 K$, respectivamente. O valor do coeficiente térmico para o sensor NTC apresentou-se dentro da margem do valor comercial, que é de 2000 a 6000 K.

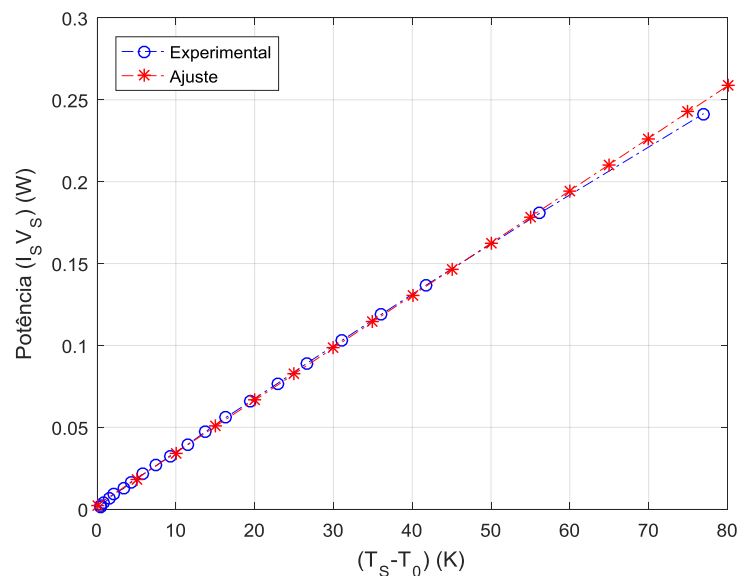
Na Tabela 9, apresenta-se os dados do segundo ensaio experimental do ensaio estático para os sensores PTC e NTC. Esta tabela foi montada de acordo com os valores experimentais para esse ensaio, onde contém os dados dos degraus de corrente elétrica aplicada ao sensor, os valores de potência elétrica referente a cada degrau e a diferença entre a temperatura do termistor, referente a cada degrau, e a temperatura da água destilada do Banho Ultratermostático, que assumiu um valor constante de 298K.

Com os dados da Tabela 9, plotou-se no *software* Matlab os gráficos das curvas $I_s V_s \times (T_s - T_0)$ dos sensores PTC e NTC. Essas curvas são ilustradas nas Figuras 15 e 16 para os sensores PTC e NTC, respectivamente. Além disso, esses gráficos apresentam um comportamento linear, onde entra em concordância com a Equação 8.

Tabela 9 - Dados do segundo ensaio experimental do ensaio estático para os sensores.

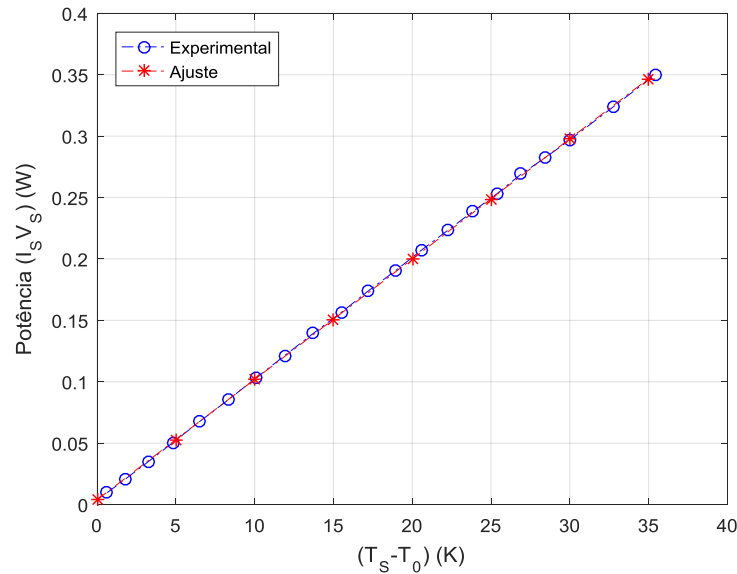
CORRENTE ELÉTRICA (mA)	PTC		NTC	
	POTÊNCIA ELÉTRICA (W)	$(T_s - T_0)$ (K)	POTÊNCIA ELÉTRICA (W)	$(T_s - T_0)$ (K)
1,0	0,00099700	0,46969697	0,0097170	0,64413546
1,5	0,00225930	0,47727270	0,0207705	1,80153092
2,0	0,00403080	0,87500000	0,0346840	3,22726440
2,5	0,00633625	1,56818182	0,0505675	4,81998999
3,0	0,00916200	2,04545455	0,0676800	6,52091692
3,5	0,01261190	3,35714286	0,0853160	8,32546027
4,0	0,01660720	4,31250000	0,1033400	10,1196856
4,5	0,02128815	5,82575758	0,1213920	11,9148406
5,0	0,02665500	7,52272727	0,1392350	13,7069605
5,5	0,03272500	9,29752066	0,1565850	15,5100560
6,0	0,03966000	11,5530303	0,1740180	17,2158122
6,5	0,04737850	13,7937063	0,1906125	18,9538718
7,0	0,05605600	16,3636364	0,2072560	20,5960606
7,5	0,06589500	19,4848485	0,2231775	22,2416327
8,0	0,07692000	22,9403409	0,2386880	23,8498081
8,5	0,08919900	26,6577540	0,2536825	25,4329583
9,0	0,10317600	31,1111111	0,2690370	26,9047177
9,5	0,11887350	36,0406699	0,2827390	28,4680479
10,0	0,13673000	41,7386364	0,2965000	29,9543945
11,0	0,18085100	56,2086777	0,3238400	32,7552980
12,0	0,24154800	76,9791667	0,3501600	35,4211692

Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 15 - Curva $I_s V_s \times (T_s - T_0)$ para o sensor PTC.

Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 16 - Curva $I_s V_s \times (T_s - T_0)$ para o sensor NTC.



Fonte: Autoria própria (2018).

Os dados da Tabela 9 foram inseridos no *software* Origin, objetivando obter as equações que melhor se adaptam aos pontos das curvas ilustradas nas Figuras 15 e 16. Portanto, escolheu-se no *software* Origin modelos de equações lineares. Após obter as equações no *software* Origin, determinou-se o parâmetro G_{th} para os sensores PTC e NTC, onde a inclinação de cada equação representa a condutância térmica (G_{th}) dos sensores. Para o sensor PTC e NTC, obteve-se $G_{th} = 0,0032 \text{ W/K}$ e $G_{th} = 0,0098 \text{ W/K}$, respectivamente. Nota-se, que condutância térmica do sensor PTC é menor do que a do sensor NTC, com isso, a quantidade de potência que o sensor PTC precisa dissipar, para que sua temperatura varie em uma unidade, é menor do que o sensor NTC.

4.2 RESULTADOS DO ENSAIO DINÂMICO

Na Tabela 10 e nas Tabelas de 11 a 13, apresentam-se os dados experimentais dos ensaios dinâmicos para os sensores PTC e NTC. Estas tabelas foram montadas de acordo com os valores experimentais destes ensaios, onde contém o tempo de aquisição dos dados e a temperatura do sensor PTC e NTC para cada instante de tempo, após ter sido aplicado um degrau de corrente elétrica de 8 mA e 4,5 mA, respectivamente.

Tabela 10 - Dados experimentais do ensaio dinâmico para o sensor PTC.

Temperatura (K)	Tempo (S)	Temperatura (K)	Tempo (S)	Temperatura (K)	Tempo (S)
294,9785	0,0000	319,1208	3,5343	320,2533	7,0686
298,1416	0,1683	319,2090	3,7026	320,2817	7,2369
312,6292	0,3366	319,2937	3,8709	320,3140	7,4052
314,1715	0,5049	319,3723	4,0392	320,3406	7,5735
315,0930	0,6732	319,4464	4,2075	320,3664	7,7418
315,7384	0,8415	319,5169	4,3758	320,3926	7,9101
316,2365	1,0098	319,5822	4,5441	320,4187	8,0784
316,6364	1,1781	319,6467	4,7124	320,4396	8,2467
316,9712	1,3464	319,7043	4,8807	320,4616	8,4150
317,2576	1,5147	319,7563	5,0490	320,4830	8,5833
317,5061	1,6830	319,8108	5,2173	320,5044	8,7516
317,7355	1,8513	319,8587	5,3856	320,5200	8,9199
317,9336	2,0196	319,9072	5,5539	320,5390	9,0882
318,1145	2,1879	319,9538	5,7222	320,5569	9,2565
318,2805	2,3562	319,9961	5,8905	320,5725	9,4248
318,4332	2,5245	320,0386	6,0588	320,5886	9,5931
318,5688	2,6928	320,0768	6,2271	320,6041	9,7614
318,6933	2,8611	320,1123	6,3954	320,6164	9,9297
318,8123	3,0294	320,1485	6,5637	320,6322	10,0980
318,9222	3,1977	320,1851	6,7320	-	-
319,0258	3,3660	320,2172	6,9003	-	-

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 11 - Dados experimentais do ensaio dinâmico para o sensor NTC.

Temperatura (K)	Tempo (S)	Temperatura (K)	Tempo (S)	Temperatura (K)	Tempo (S)
298,0224	0,0000	304,7712	2,5245	306,7530	5,0490
298,0898	0,1683	304,9927	2,6928	306,8573	5,2173
298,4759	0,3366	305,1524	2,8611	306,9272	5,3856
300,4030	0,5049	305,3134	3,0294	307,0324	5,5539
301,1246	0,6732	305,4757	3,1977	307,1028	5,7222
301,6836	0,8415	305,6393	3,3660	307,1735	5,8905
302,1755	1,0098	305,7711	3,5343	307,2444	6,0588
302,5949	1,1781	305,9038	3,7026	307,3156	6,2271
302,9369	1,3464	306,0373	3,8709	307,3870	6,3954
303,2848	1,5147	306,1380	4,0392	307,4587	6,5637
303,5794	1,6830	306,2731	4,2075	307,5306	6,7320
303,8783	1,8513	306,3750	4,3758	307,5666	6,9003
304,1207	2,0196	306,4774	4,5441	307,6389	7,0686
304,3661	2,1879	306,5803	4,7124	307,7115	7,2369
304,5832	2,3562	306,6492	4,8807	307,7478	7,4052

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 12 - Dados experimentais do ensaio dinâmico para o sensor NTC.

Temperatura (K)	Tempo (S)	Temperatura (K)	Tempo (S)	Temperatura (K)	Tempo (S)
307,8208	7,5735	309,2183	14,6421	309,8530	21,7107
307,8573	7,7418	309,2574	14,8104	309,8933	21,8790
307,8939	7,9101	309,2574	14,9787	309,8933	22,0473
307,9674	8,0784	309,2966	15,1470	309,8933	22,2156
308,0042	8,2467	309,2966	15,3153	309,9337	22,3839
308,0411	8,4150	309,3359	15,4836	309,9337	22,5522
308,1151	8,5833	309,3359	15,6519	309,9337	22,7205
308,1521	8,7516	309,3752	15,8202	309,9337	22,8888
308,1893	8,9199	309,3752	15,9885	309,9742	23,0571
308,2265	9,0882	309,4146	16,1568	309,9742	23,2254
308,2638	9,2565	309,4146	16,3251	309,9742	23,3937
308,3011	9,4248	309,4541	16,4934	309,9742	23,5620
308,3386	9,5931	309,4541	16,6617	310,0147	23,7303
308,3760	9,7614	309,4936	16,8300	310,0147	23,8986
308,4136	9,9297	309,4936	16,9983	310,0147	24,0669
308,4512	10,0980	309,4936	17,1666	310,0147	24,2352
308,4889	10,2663	309,5332	17,3349	310,0147	24,4035
308,5267	10,4346	309,5332	17,5032	310,0553	24,5718
308,5645	10,6029	309,5729	17,6715	310,0553	24,7401
308,6024	10,7712	309,5729	17,8398	310,0553	24,9084
308,6404	10,9395	309,5729	18,0081	310,0553	25,0767
308,6784	11,1078	309,6127	18,1764	310,0553	25,2450
308,7165	11,2761	309,6127	18,3447	310,0553	25,4133
308,7165	11,4444	309,6127	18,5130	310,0961	25,5816
308,7547	11,6127	309,6526	18,6813	310,1777	25,7499
308,7929	11,7810	309,6526	18,8496	310,0961	25,9182
308,8312	11,9493	309,6526	19,0179	310,0961	26,0865
308,8312	12,1176	309,6925	19,1862	310,0961	26,2548
308,8696	12,2859	309,6925	19,3545	310,0961	26,4231
308,9081	12,4542	309,6925	19,5228	310,1368	26,5914
308,9081	12,6225	309,7325	19,6911	310,1368	26,7597
308,9466	12,7908	309,7325	19,8594	310,1368	26,9280
308,9852	12,9591	309,7325	20,0277	310,1368	27,0963
308,9852	13,1274	309,7726	20,1960	310,1777	27,2646
309,0239	13,2957	309,7726	20,3643	310,1368	27,4329
309,0626	13,4640	309,7726	20,5326	310,1368	27,6012
309,0626	13,6323	309,8128	20,7009	310,1368	27,7695
309,1014	13,8006	309,8128	20,8692	310,1368	27,9378
309,1403	13,9689	309,8128	21,0375	310,1777	28,1061
309,1403	14,1372	309,8530	21,2058	310,1777	28,2744
309,1793	14,3055	309,8530	21,3741	310,1777	28,4427
309,1793	14,4738	309,8530	21,5424	310,1777	28,6110

Fonte: Autoria própria (2018).

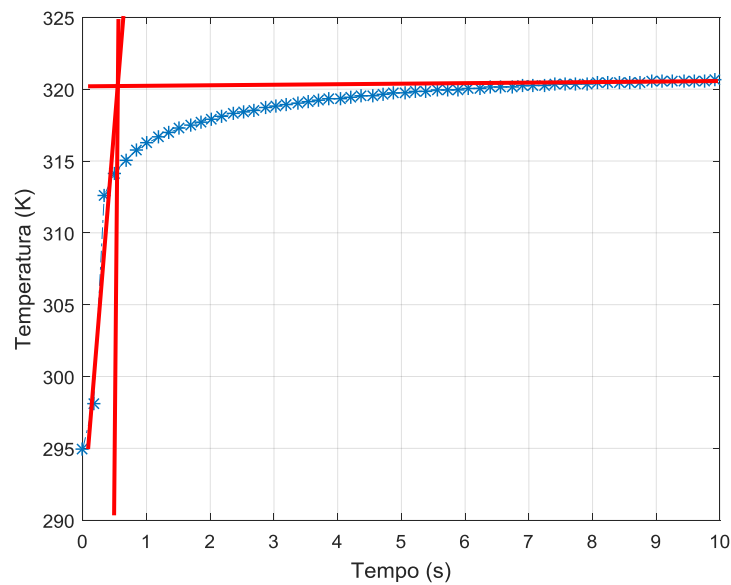
Tabela 13 - Dados experimentais do ensaio dinâmico para o sensor NTC.

Temperatura (K)	Tempo (S)	Temperatura (K)	Tempo (S)	Temperatura (K)	Tempo (S)
310,1777	28,7793	310,2597	36,0162	310,3420	43,2531
310,1777	28,9476	310,3008	36,1845	310,3420	43,4214
310,1777	29,1159	310,3008	36,3528	310,3420	43,5897
310,1777	29,2842	310,3008	36,5211	310,3420	43,7580
310,1777	29,4525	310,3008	36,6894	310,3420	43,9263
310,1777	29,6208	310,3008	36,8577	310,3420	44,0946
310,1777	29,7891	310,3008	37,0260	310,3420	44,2629
310,1777	29,9574	310,3008	37,1943	310,3420	44,4312
310,1777	30,1257	310,3008	37,3626	310,3420	44,5995
310,1777	30,2940	310,3008	37,5309	310,3420	44,7678
310,2186	30,4623	310,3008	37,6992	310,3420	44,9361
310,2186	30,6306	310,3008	37,8675	310,3420	45,1044
310,2186	30,7989	310,3008	38,0358	310,3420	45,2727
310,2186	30,9672	310,3008	38,2041	310,3420	45,4410
310,2186	31,1355	310,3008	38,3724	310,3420	45,6093
310,2186	31,3038	310,3008	38,5407	310,3420	45,7776
310,2186	31,4721	310,3420	38,7090	310,3420	45,9459
310,2186	31,6404	310,3420	38,8773	310,3420	46,1142
310,2186	31,8087	310,3420	39,0456	310,3420	46,2825
310,2186	31,9770	310,3420	39,2139	310,3420	46,4508
310,2186	32,1453	310,3420	39,3822	310,3420	46,6191
310,2186	32,3136	310,3420	39,5505	310,3420	46,7874
310,2186	32,4819	310,3420	39,7188	310,3420	46,9557
310,2186	32,6502	310,3420	39,8871	310,3420	47,1240
310,2186	32,8185	310,3420	40,0554	310,3420	47,2923
310,2186	32,9868	310,3420	40,2237	310,3420	47,4606
310,2186	33,1551	310,3420	40,3920	310,3420	47,6289
310,2186	33,3234	310,3420	40,5603	310,3420	47,7972
310,2597	33,4917	310,3420	40,7286	310,3420	47,9655
310,2597	33,6600	310,3420	40,8969	310,3420	48,1338
310,2597	33,8283	310,3420	41,0652	310,3420	48,3021
310,2597	33,9966	310,3420	41,2335	310,3420	48,4704
310,2597	34,1649	310,3420	41,4018	310,3420	48,6387
310,2597	34,3332	310,3420	41,5701	310,3420	48,8070
310,2597	34,5015	310,3420	41,7384	310,3420	48,9753
310,2597	34,6698	310,3420	41,9067	310,3420	49,1436
310,2597	34,8381	310,3420	42,0750	310,3420	49,3119
310,2597	35,0064	310,3420	42,2433	310,3420	49,4802
310,2597	35,1747	310,3420	42,4116	310,3420	49,6485
310,2597	35,3430	310,3420	42,5799	310,3420	49,8168
310,2597	35,5113	310,3420	42,7482	310,3420	49,9851
310,2597	35,6796	310,3420	42,9165	310,3420	50,1534
310,2597	35,8479	310,3420	43,0848		

Fonte: Autoria própria (2018).

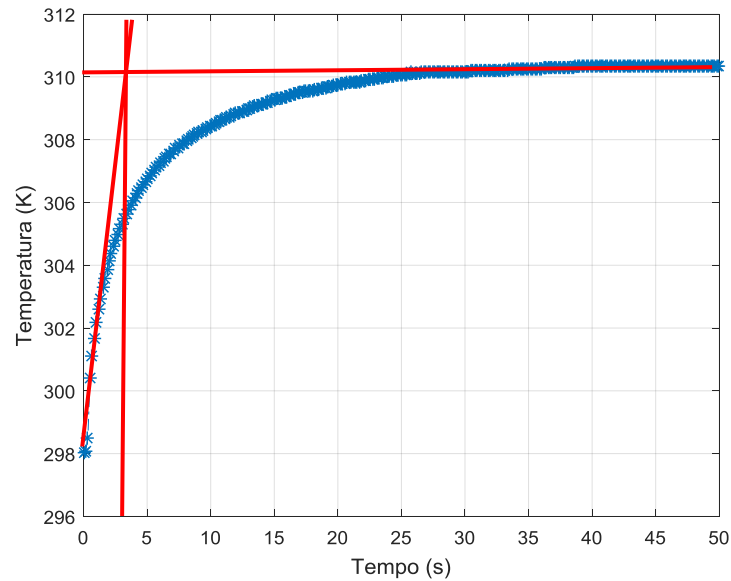
Com os dados das Tabelas 10 a 13, plotou-se no *software* Matlab os gráficos das curvas de $T_s \times t$ para os sensores PTC e NTC, ilustradas nas Figuras 17 e 18, respectivamente. Em seguida, adicionou-se uma reta tangente nestas curvas, objetivando determinar a constante de tempo (τ) dos sensores. Para o sensor PTC e NTC, obteve-se $\tau = 0,45$ s e $\tau = 2,69$ s, respectivamente. Com este resultado, pode-se perceber que o sensor PTC apresenta uma maior sensibilidade, após ser inserido um degrau de corrente elétrica, em comparação ao sensor NTC, onde a constante de tempo do PTC foi menor do que a constante de tempo do NTC.

Figura 17 - Curva de aquecimento para o sensor PTC.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 18 - Curva de aquecimento para o sensor NTC.



Fonte: Autoria própria (2018).

Devido a limitação na taxa de aquisição dos dados do sistema de aquisição de dados da Agilent 34972A, que foi de 167 milissegundos para cada dado, não foi possível encontrar a constante de tempo (τ) com uma maior precisão para os sensores PCT e NTC. Para o sensor PTC foram registrados apenas 3 (três) pontos no processo de aquecimento.

4.3 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NO SIMULINK

Na Tabela 14, apresentar-se os parâmetros encontrados nos ensaios térmicos, para a caracterização estática e dinâmica dos sensores PTC e NTC. O valor da capacidade térmica (C_{th}) foi determinada através da Equação 9.

Tabela 14 – Valores dos parâmetros dos sensores.

TERMISTOR	$R_0 (\Omega)$	$B (^{\circ})$	$G_{th} (W/K)$	$C_{th} (J/K)$	$\tau (s)$
PTC	1000	$0,0088 K^{-1}$	0,0032	0,00144	0,45
NTC	10000	$3966,4179 K$	0,0098	0,026362	2,69

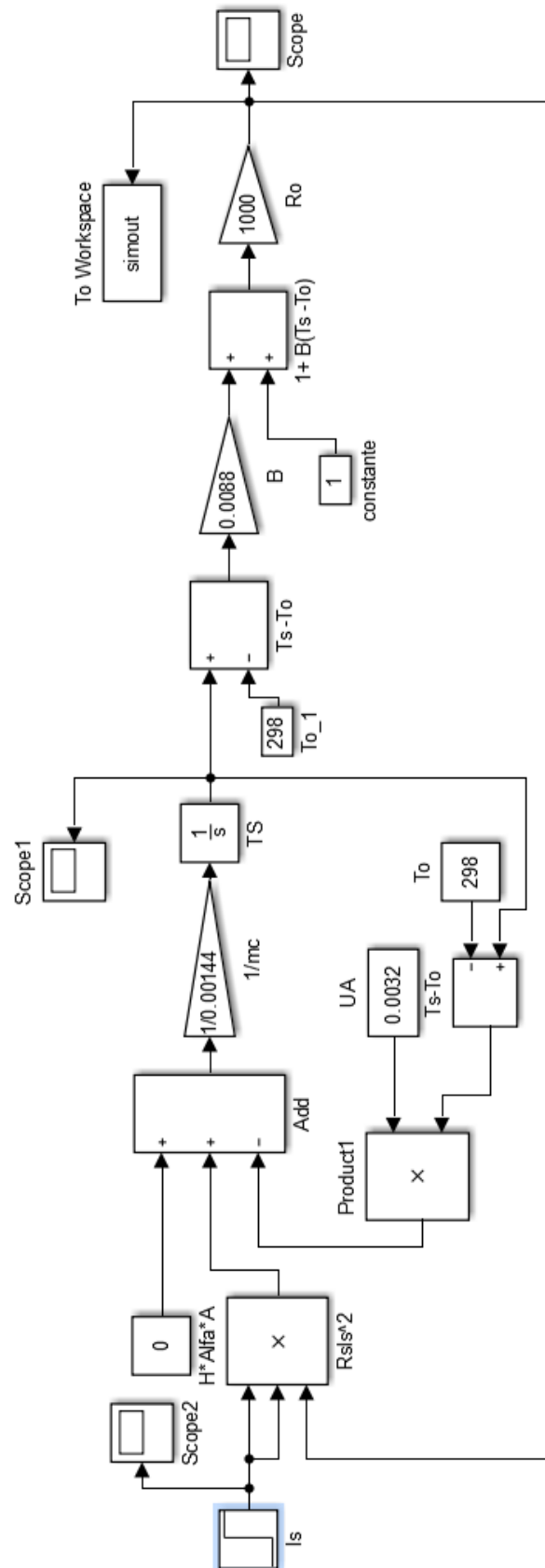
Fonte: Autoria própria (2018).

Nas Figuras 19 e 20, ilustram-se os diagramas de blocos utilizados no *software* Simulink para a simulação do comportamento da resistência elétrica dos sensores PTC e NTC em relação ao tempo, onde foram aquecidos por potência elétrica através da aplicação de um

degrau de corrente elétrica. A radiação incidente é nula e o degrau de corrente aplicado foi de 10 mA para os sensores PTC e NTC, com uma duração de 5 segundos de simulação.

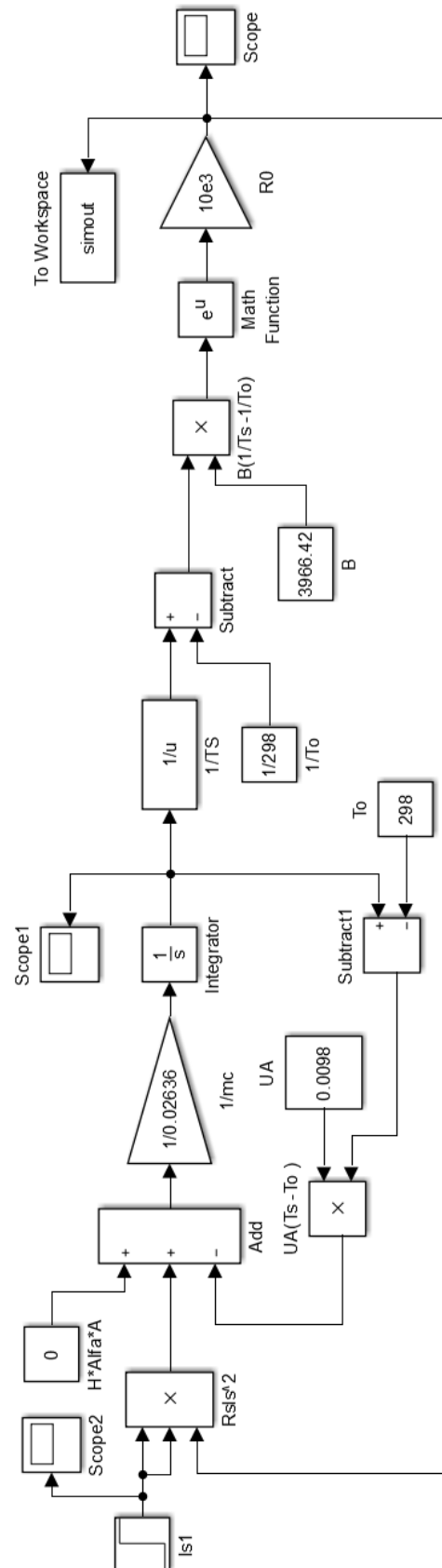
Nas Figuras 21 e 22, ilustram-se os resultados da simulação no *software* Simulink de um sistema dinâmico para os sensores PTC e NTC, respectivamente. Portanto, pode-se observar uma boa concordância desses resultados com o esperado, onde a resistência elétrica do sensor PTC cresce exponencialmente ao passar do tempo para uma excitação por potência elétrica, enquanto a resistência elétrica do sensor NTC decresce exponencialmente com o passar do tempo para essa mesma excitação.

Figura 19 – Diagrama de blocos para o sensor PTC.



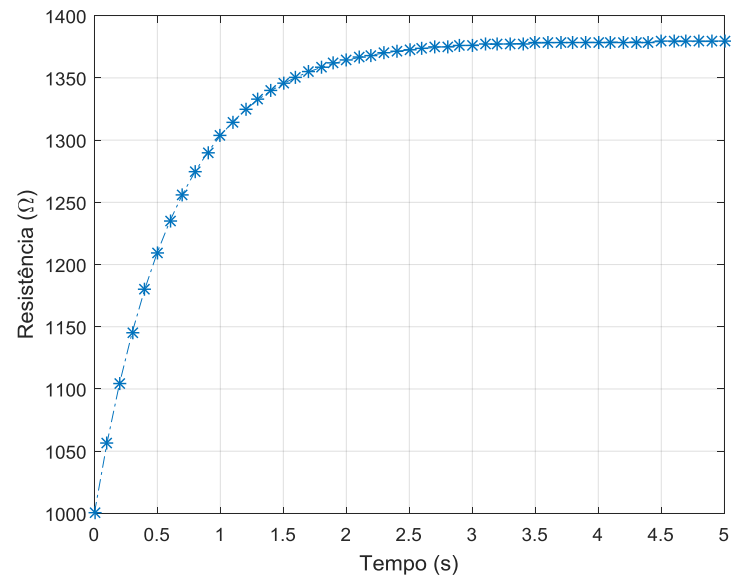
Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 20 - Diagrama de blocos para o sensor NTC.



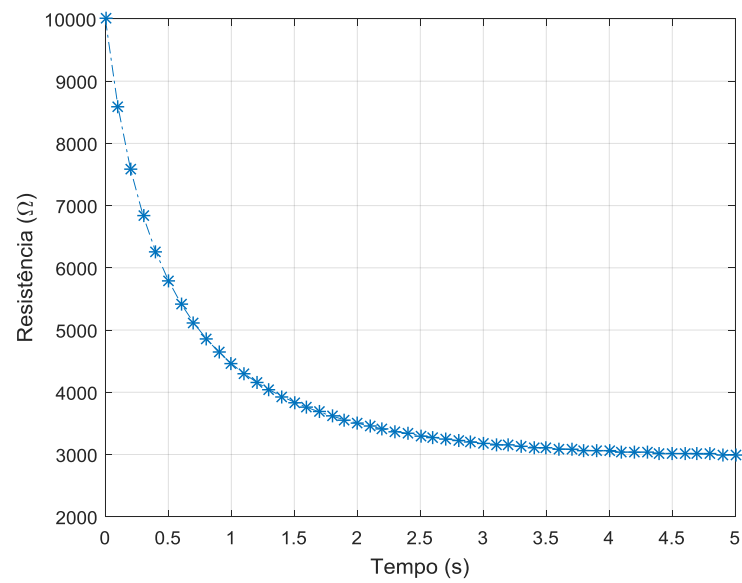
Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 21 - Resultado da simulação para o sensor PTC.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 22 - Resultado da simulação para o sensor NTC.



Fonte: Autoria própria (2018).

5 CONCLUSÕES

A caracterização dos sensores PTC e NTC tem a finalidade de determinar os parâmetros do sensor e, em seguida, conhecer sua resposta temporal e seu ponto de operação. Para a caracterização dos termistores, precisou-se realizar ensaios relacionados ao comportamento estático e dinâmico dos sensores, que são conhecidos por caracterização estática e dinâmica, respectivamente.

Na caracterização estática, obteve-se para os sensores PTC e NTC um valor de resistência elétrica do sensor (R_0) à temperatura ambiente de 298 K de 1 k Ω e 10 k Ω , um valor de coeficiente térmico (β) de 0,0088 K⁻¹ e 3966,4179 K e um valor de condutância térmica (G_{th}) de 0,0032 W/K e 0,0098 W/K, respectivamente. Na caracterização dinâmica, obteve-se para os sensores PTC e NTC um valor de constante de tempo (τ) de 0,45 e 2,69 s, respectivamente. Com estes parâmetros, pode-se realizar as simulações dos comportamentos das resistências elétricas dos sensores em relação ao tempo no Simulink do *software* Matlab.

Os resultados das simulações dos comportamentos das resistências elétricas dos sensores foram satisfatórios em concordância com o embasamento teórico, onde as resistências elétricas do PTC e NTC cresce e decresce exponencialmente ao passar do tempo para uma excitação por potência elétrica, respectivamente.

Assim, tendo em vista que os resultados encontrados apresentam uma razoável concordância com o embasamento teórico deste trabalho, pode-se concluir a veracidade dos dados experimentais.

6 TRABALHOS FUTUROS

Como perspectiva de trabalhos futuros propõe-se utilizar outros métodos para determinar a constante de tempo, para assim poder fazer uma comparação entre os resultados de cada método.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANACLETO, Alcinda Maria da Costa. **Dissertação de Mestrado: Temperatura e sua Medição**. Universidade do porto, departamento de Física, 2007.

COSTA, Alexandre Santana da. **Transdutor sigma-delta com sensor termo-resistivo**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

FERREIRA, Vítor Pinheiro. **Estudo do uso de sensores de temperatura na medição e controle de vazão de gases com aplicação em HVAC**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

FRANÇA, Maria Bernadete de Moraes. **Caracterização de Sensores Termo-Resistivos Utilizando Degrau de Potência Elétrica**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1998.

GABRIEL, Michel Valença. **Análise de Sensibilidade de Anemômetros a Temperatura Constante Baseados em Sensores Termo-Resistivos**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2004.

LIMA, W. M. **Plataforma para análise comportamental de atuadores de ligas com memória de forma e para o controle de deformação de uma barra flexível**. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/PB, Brasil, 2008.

LOBO, Felipe Machado. **Contribuições ao ensino de controle usando Matlab, Arduino e Hardware de baixo custo**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

NOVUS. produtos eletrônicos. Inc. **Termopares**. 2003. Disponível em: <<https://www.novus.com.br/site/>>. Acesso em: 19 ago. 2018.

SANTOS, Joalbo Borges. **Caracterização de Sensores Termo-Resistivos Utilizando Linearização por Realimentação e Aplicações**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

SOLAB. Fabricante de Equipamentos para Laboratórios. Inc. : **BANHO ULTRATERMOSTATIZADO, MARCA SOLAB**. 2013. Disponível em: <<http://www.solabcientifica.com.br>>. Acesso em: 18 ago. 2018.

TEKTRONIX AND KEITHLEY. Tektronix company. **195W Triple Channel DC**: Power Supply. Disponível em: <<https://www.tek.com>>. Acesso em: 26 ago. 2018.

TESTWORLD, A GLOBAL SOURCE OF TEST EQUIPMENT. INC. **Agilent 34970A/34972A Data Acquisition / Switch Unit: User's Guide.** [S.l.]: 34970A/34972A Data Acquisition, 2012. Disponível em: <<https://testworld.com>>. Acesso em: 17 ago. 2018.