



**CALIBRAÇÃO DE TERMOPARES UTILIZANDO
FONTE DE CALOR ELETRÔNICA**

JORGE KHOURI

PUBLICAÇÃO IEA N.º 375
Janeiro — 1975

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"
SÃO PAULO — BRASIL

**CALIBRAÇÃO DE TERMOPARES UTILIZANDO
FONTE DE CALOR ELETRÔNICA**

Jorge Khouri

**Coordenadoria de Engenharia Nuclear
Instituto de Energia Atômica
São Paulo - Brasil**

**Publicação IEA Nº 375
Janeiro - 1975**

Instituto de Energia Atômica

Conselho Superior

Eng^o Roberto N. Jafet - Presidente

Prof. Dr. Emilio Mattar - Vice-Presidente

Prof. Dr. José Augusto Martins

Prof. Dr. Milton Campos

Eng^o Helcio Modesto da Costa

Superintendente

Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

INDICE

	Pag.
- Sumário	1
1 - Introdução	1
2 - Fonte de Calor	1
2.1 - Descrição	1
2.2 - Componentes	2
2.2.1 - Transistor T_1	2
2.2.2 - Resistor R_I	2
2.2.3 - Resistor R_E	2
2.2.4 - Termistor	2
2.2.4.1 - Valor da resistência ôhmica	3
2.2.4.2 - Característica corrente versus tensão	3
2.2.4.3 - Característica resistência versus temperatura	3
2.2.4.4 - Tabela de valores numéricos das características corrente versus tensão e resistência versus temperatura	3
2.2.4.4.1 - Característica corrente versus tensão	6
2.2.4.4.2 - Características resistência versus temperatura	6
2.2.5 - Comportamento da fonte de calor	7
3 - Parte Experimental	9
3.1 - Instrumentação utilizada	9
3.1.1 - Fonte de tensão D. C.	9
3.1.1.1 - Especificações técnicas	9
3.1.2 - Fonte fria ("Ice point reference")	10
3.1.2.1 - Especificações técnicas	10
3.1.3 - Termômetro	10
3.1.3.1 - Especificações técnicas	10
3.1.4 - Potenciômetro	10
3.1.4.1 - Especificações técnicas	10
3.2 - Material utilizado	11
3.2.1 - Caixa adiabática	11
3.2.2 - Amostra	11
3.2.3 - Termopares	11
3.2.4 - Conjunto fixador do termopar	11
3.2.5 - Unidade térmica	11
3.3 - Descrição da experiência	11
3.3.1 - Termopar Ferro-Constantan	14
3.3.2 - Termopar Cromel-Alumel	15
3.4 - Ajuste de curvas	15
3.4.1 - Equações das retas obtidas	15
3.4.1.1 - Termopar Ferro-Constantan	15
3.4.1.2 - Termopar Cromel-Alumel	15
3.4.1.3 - Comentário	15

3.4.1.4	- Cálculo do desvio padrão	18
3.4.1.4.1	- Termopar Ferro-Constantan	18
3.4.1.4.2	- Termopar Cromel-Alumel	19
3.5	- Erro máximo das leituras	19
3.5.1	- Termopar Cromel-Alumel	19
3.5.2	- Termopar Ferro-Constantan	20
4	- Comentários e Conclusões	20
	- Apêndice 1	22
	- Apêndice 2	24
	- Apêndice 3	29
	- Abstract	30
	- Résumé	30
	- Referências Bibliográficas	30

CALIBRAÇÃO DE TERMOPARES UTILIZANDO FONTE DE CALOR ELETRÔNICA

Jorge Khouri

SUMÁRIO

Atualmente, é comum a utilização de termopares para a determinação da temperatura de um fluido qualquer.

Além dos cuidados usuais para seu uso, devemos calibrá-los e para isto utiliza-se uma fonte de calor.

Presentemente, os transistores de potência podem ser utilizados como fontes de calor e termistores são colocados no circuito, a fim de proporcionarem temperaturas estáveis, por meio de realimentação.

1 - Introdução

O presente trabalho possui dois objetivos. O primeiro, visa à calibração de termopares em um determinado intervalo de temperatura; o segundo, a viabilidade da utilização de uma fonte de calor constituída de componentes eletrônicos, bem como a introdução de um novo termistor.

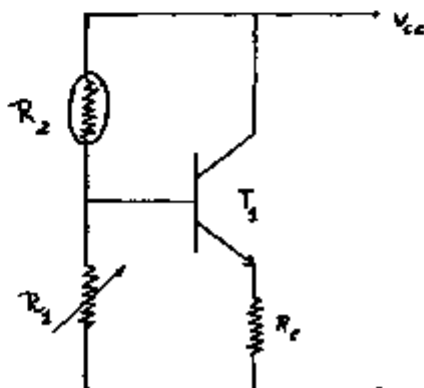
Inicialmente, faremos uma exposição sobre a fonte de calor empregada, procurando mostrar como é constituída, que componentes eletrônicos utiliza, suas características e suas limitações. Quanto à calibração de termopares, faremos uma exposição ao tratarmos da parte experimental deste trabalho.

Resta ainda lembrar que a utilização de termopares para a medida de temperatura é importantíssima em circuitos térmicos e reatores nucleares.

2 - Fonte de Calor

2.1 - Descrição

A fonte de calor empregada está esquematicamente representada na figura seguinte:



onde: T_1 é um transistor de potência.

R_1 é um resistor variável.

R_2 é um termistor.

R_E é o resistor de emissor.

V_{CC} é a tensão de alimentação D.C.

Como se pode observar, trata-se, simplesmente, de um circuito comum de polarização de transistores, utilizando, como divisor de tensão na base, um termistor e um resistor variável.

2.2 - Componentes

Far-se-á, agora, uma apreciação sobre os componentes constituintes da fonte de calor, dando destaque especial ao termistor.

2.2.1 - Transistor T_1

Escolheu-se o tipo AR-17. É um transistor NPN, de silício, que lhe confere um melhor comportamento em relação à temperatura. Suas características elétricas, bem como um conjunto de curvas características podem ser encontrados no apêndice 1. Utilizou-se, como dissipador, uma placa de alumínio com as faces polidas.

2.2.2 - Resistor R_1

Este resistor, na verdade, é constituído por um conjunto de resistores, dispostos de maneira adequada, possibilitando a oportunidade de obter valores ôhmicos no intervalo de 30 a 600 ohms.

Todos os resistores que compõe o conjunto R_1 são resistores de carvão.

2.2.3 - Resistor R_E

Constitui-se de resistores, também de carvão, perfazendo um valor fixo igual a 16,5 ohms.

2.2.4 - Termistor

O termistor que utilizamos é do tipo P (ositive) T (emperature) C (oefficient) comumente conhecido por PTC. É um resistor não linear com coeficiente positivo de temperatura.

Os termistores PTC são fabricados com $BaTiO_3$, ou soluções sólidas de $BaTiO_3$ e $SrTiO_3$. São normalmente usados como limitadores de corrente, sensores de temperatura e dispositivos de proteção contra sobreaquecimento em aparelhos elétricos.

O PTC tem um comportamento todo especial, possuindo coeficiente positivo de temperatura em apenas um determinado intervalo de temperatura, fora do qual seu coeficiente

é negativo.

Em virtude de ser um componente novo no Brasil, não há, na literatura existente, dados sobre ele. Daí termos levantado, experimentalmente, algumas de suas características, a fim de que pudéssemos empregá-lo convenientemente.

Em laboratório, determinamos as características tensão versus corrente e resistência versus temperatura, bem como o valor de sua resistência ôhmica à temperatura ambiente (25°C).

Os itens 2.2.4.1 até 2.2.4.2 fornecem as características do termistor e tecem considerações sobre os valores encontrados.

2.2.4.1 - Valor da resistência ôhmica.

À temperatura ambiente (25°C), obteve-se um valor de 17 ohms.

2.2.4.2 - Características corrente versus tensão.

Como se pode observar no gráfico (figura 1), há um aumento de corrente com o aumento de tensão. A corrente atinge seu máximo, aproximadamente, em 120 mA, para uma tensão de, aproximadamente, 2,70 V. A partir desse ponto, aumentando-se a tensão verifica-se um decréscimo na corrente até 58 mA, que corresponde a 10 V. Observamos, também, nestes dois intervalos, que a variação é razoavelmente linear.

Para valores de tensão maiores do que 10 V, observa-se que o decréscimo da corrente é mais lento, tendendo para uma estabilização em torno de 30 mA.

2.2.4.3 - Característica resistência versus temperatura.

Como se pode observar, no gráfico (figura 2), o PTC possui uma curva característica de tensão, em função da temperatura, muito curiosa. Até a temperatura de 40°C, sua resistência ôhmica não apresenta variações sensíveis. Em seguida, inicia-se um intervalo que, para pequena variação de temperatura, obtemos uma grande variação na resistência ôhmica até, aproximadamente, 105°C, a partir da qual a variação da resistência ôhmica começa a diminuir.

Os estudos teóricos mostram que para temperaturas relativamente baixas e temperaturas relativamente altas, seu coeficiente de temperatura é negativo e entre esses dois intervalos temos coeficiente de temperatura positivo.

No presente caso, observamos que o intervalo de temperatura positivo vai de 55 a 105°C e que sua resistência ôhmica percorre o intervalo de 33 a 15.000 ohms.

Resta-nos ainda frisar que sua sensibilidade à mudanças de temperatura é maior do que outros termistores, por exemplo o N (egative) T (emperature) C (oefficient).

2.2.4.4 - Tabela de valores numéricos das características corrente versus tensão e resistência versus temperatura.

Para finalizar o estudo PTC, daremos duas tabelas com valores experimentais que possibilitaram traçar os gráficos correspondentes às figuras 1 e 2.

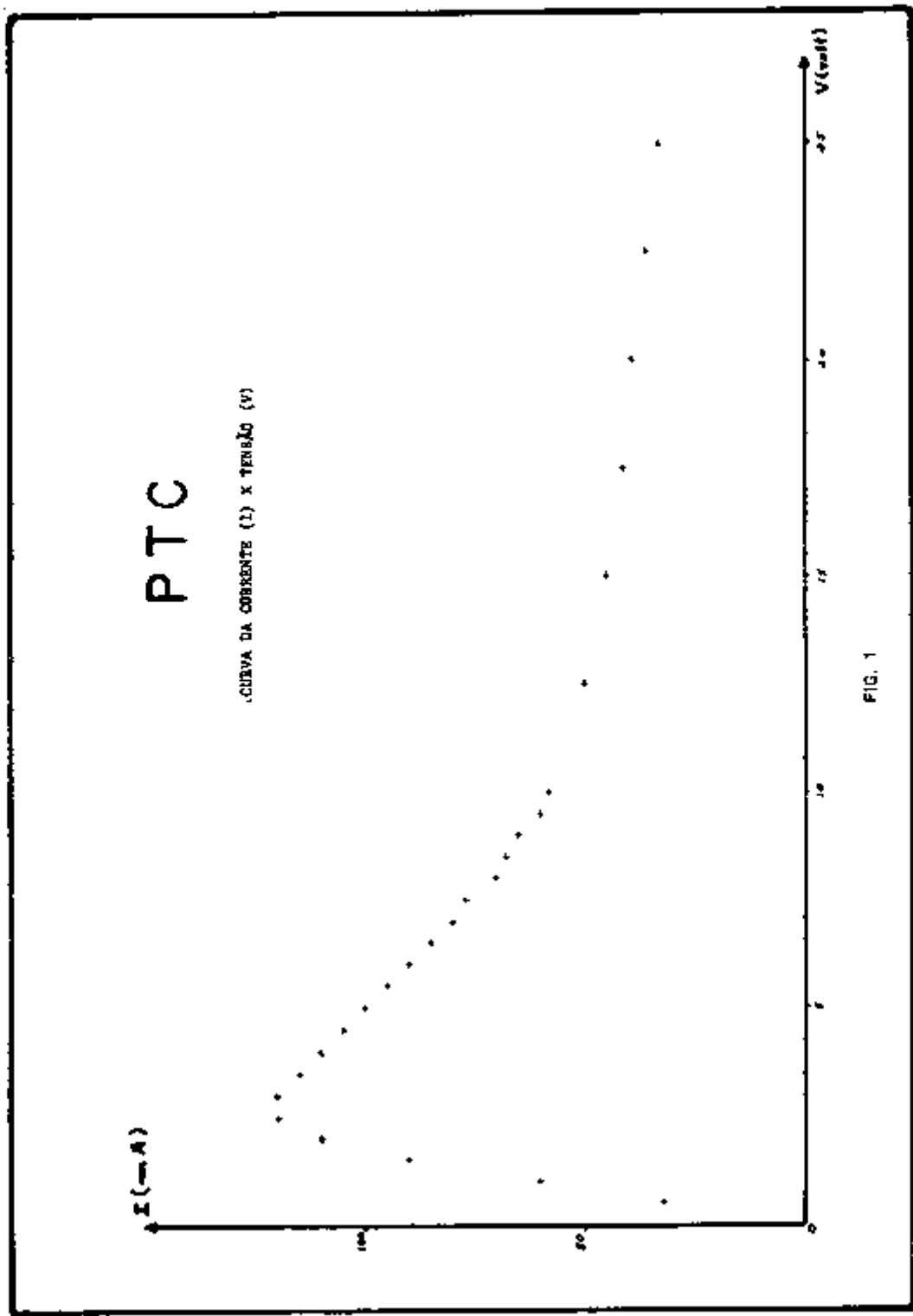
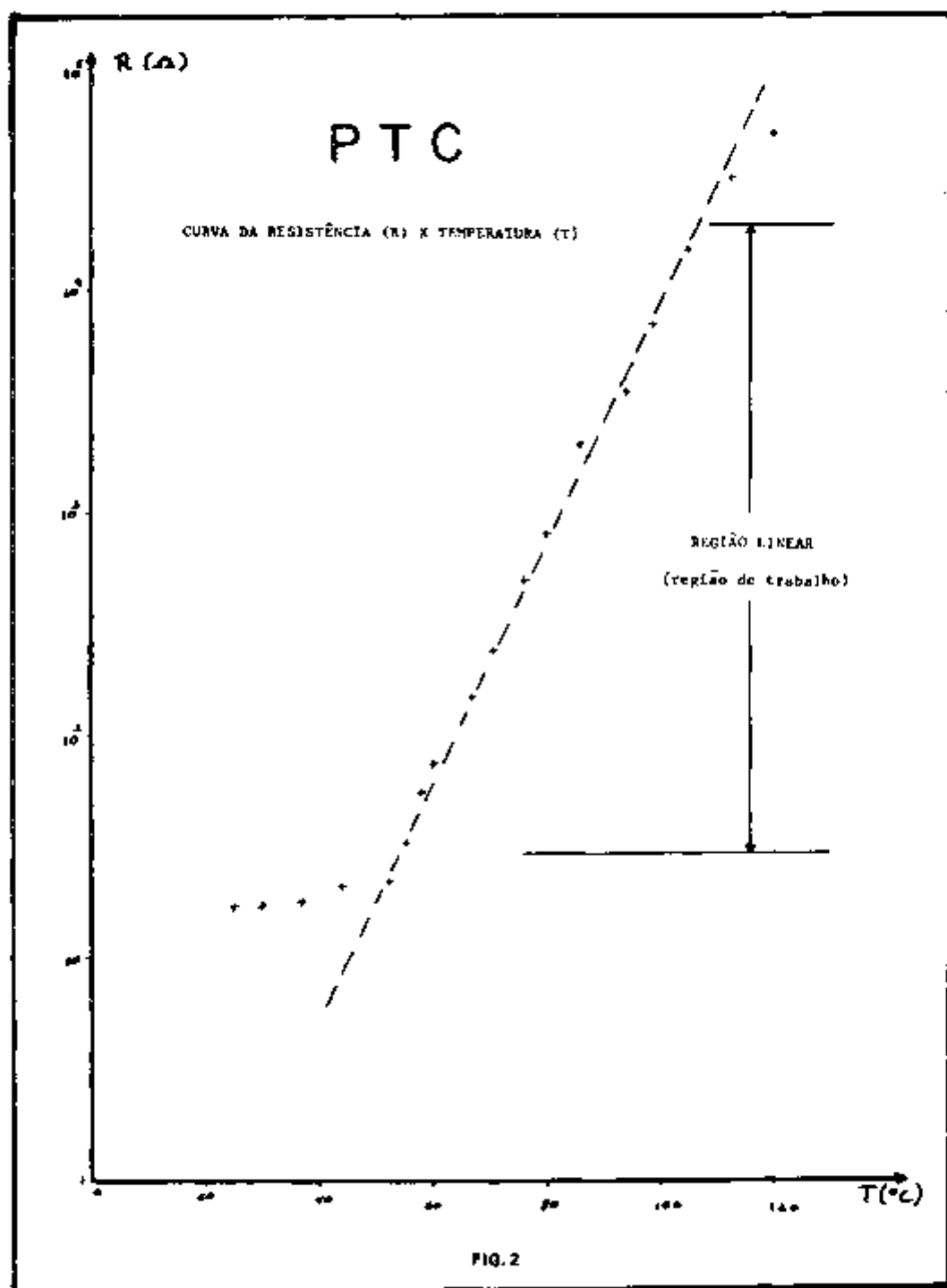


FIG. 1



2.2.4.4.1 - Característica corrente versus tensão.

tensão (V)	corrente (mA)	tensão (V)	corrente (mA)
0,50	32	7,00	80
1,00	60	7,50	77
1,50	90	8,00	70
2,00	110	8,50	68
2,50	120	9,00	65
3,00	120	9,50	60
3,50	115	10,00	58
4,00	110	12,50	50
4,50	105	15,00	45
5,00	100	17,50	41
5,50	95	20,00	39
6,00	90	22,50	36
6,50	85	25,00	33

2.2.4.4.2 - Característica resistência versus temperatura.

R (Ω)	T ($^{\circ}$ C)
17	25
17	30
18	37
21	44
24	52
33	55
65	58
95	60
150	67
240	71
490	76
800	80
1500	86
3300	94
7000	99
15000	105
32000	113
50000	120

2.2.5 - Comportamento da fonte de calor.

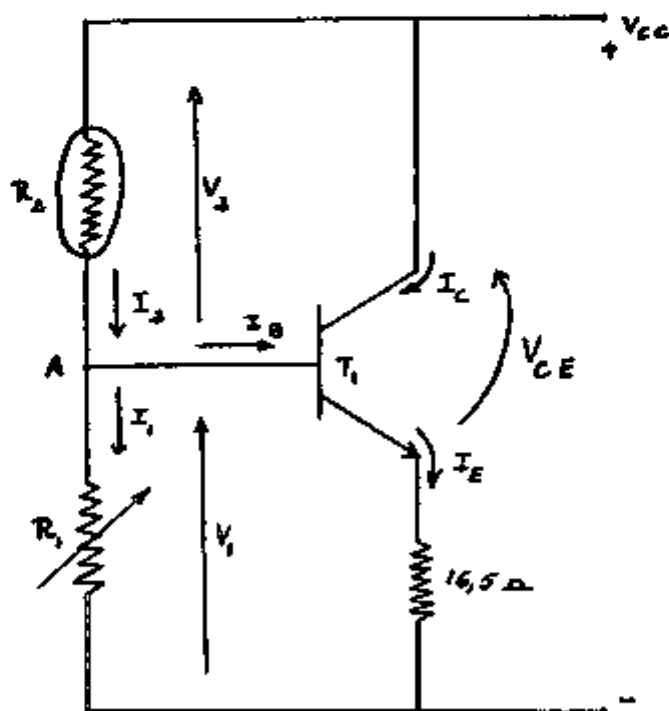
Como frisamos, no início, o circuito empregado é simplesmente um circuito de polarização de transistores, no qual um dos componentes do divisor de tensão polarizador da base é um resistor não linear (PTC).

O PTC, variando suas características com a temperatura, pode compensar as variações sofridas pelo transistor devido ao efeito da temperatura, estabilizando-o.

Os problemas no transistor são oriundos do efeito da temperatura na sua junção e não, obrigatoriamente, da temperatura ambiente. Por isso, costuma-se montar o termistor PTC encostado ao transistor ou ao dissipador utilizado.

Vejamos como se comporta o circuito utilizado, sem que detenhamos em pormenores teóricos relativos à parte eletrônica.

Consideremos o circuito seguinte:



onde:

- I_E = Corrente de Emissor
- I_B = Corrente de Base
- I_C = Corrente de Coletor
- V_{CE} = Tensão Coletor-Emissor

No transistor, verifica-se:

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$$

mas

$$I_E = I_C + I_B$$

então

$$I_C = \alpha(I_C + I_B) + I_{CBO}$$

resultando:

$$I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + \frac{1}{1-\alpha} I_{CBO}$$

ou seja:

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CBO}$$

onde:

β é o fator de amplificação

I_{CBO} é a corrente de fuga.

No caso presente, como se utilizou transistor de silício e, além disso, I_{CBO} não exerce influência no resultado, podemos desprezar o termo $(\beta + 1) I_{CBO}$. Verifica-se, então que a corrente de coletor I_C é função apenas da corrente de base I_B , pois β é fixo para cada transistor, em um determinado intervalo de temperatura.

Daf, resultar:
$$I_C = \beta I_B \quad (1)$$

Fazendo-se uma análise de correntes no nó A temos:

$$I_2 = I_B + I_1 \therefore I_B = I_2 - I_1 \quad (2)$$

Substituindo-se (2) em (1), obtém-se:

$$I_C = \beta(I_2 - I_1) \quad (3)$$

Temos, também, que:

$$\text{Potência dissipada} = V_{CE} \cdot I_C$$

Para se ter uma idéia do comportamento do dispositivo faremos algumas hipóteses, apenas para que a explicação e o entendimento se tornem mais simples.

Para cada caso, o resistor R_1 tem um valor fixo. Sendo assim, admitamos também, fixas a corrente I_1 e a tensão V_1 .

Toda potência dissipada é transformada em calor. Então, com o aumento de I_C , verifica-se um aumento de potência, acarretando um aumento de temperatura.

Como dissemos, o PTC, em um determinado intervalo de temperatura, tem o valor de sua resistência ôhmica, aumentado com a elevação de temperatura. Ora, aumentando-se o valor de sua resistência, teremos uma diminuição da corrente I_2 . Pela relação (3) observamos que haverá uma diminuição da corrente de coletor I_C . Logo, teremos uma diminuição da potência dissipada, o que acarretará num decréscimo de temperatura. Entretanto, o decréscimo de temperatura leva a um decréscimo de resistência ôhmica e este por sua vez num aumento da corrente I_1 , aumentando a corrente I_C , reiniciando o ciclo.

Como podemos observar, existe um compromisso entre a temperatura, a resistência ôhmica e a corrente de coletor. Em função desse compromisso, para determinados valores de R_1 , obtemos uma estabilização do circuito. Isso possibilita a obtenção de dados experimentais, num intervalo desejado, que permitem obter equações, gráficos e conclusões relativos à parte experimental referente à calibração de termopares e mesmo sobre o comportamento e modificações da fonte de calor.

É mister frisar, novamente que a maneira como foi exposto o comportamento do circuito (fonte de calor), fazendo-se hipóteses para uma simplificação nas explicações e discussões sobre o comportamento físico do componente semiconductor gerador de calor (transistor), se deve única e exclusivamente à necessidade de cumprirmos o objetivo a que nos propusemos. Isto é, verificar se é possível utilizar um aparato eletrônico, como o descrito.

3 - Parte Experimental

Após a exposição dos itens relativos a fonte de calor, iniciaremos, agora, a parte experimental que versará sobre a calibração de termopares. Assim, procuraremos descrever minuciosamente como foi feita a parte experimental, instrumentação utilizada, métodos usados para o ajuste de curvas e finalmente as conclusões decorrentes dos resultados alcançados, comparados com os da literatura examinada.

3.1 - Instrumentação utilizada

3.1.1 - Fonte de tensão D. C.

Utilizamos, como fonte de tensão D. C., o modelo 6111 A da Hewlett Packard.

3.1.1.1 - Especificações técnicas.

Entrada: 105 - 125/210 - 250V A. C.

Saída: 0 a 20V, para 0 a 1 A

Estabilidade: Total após 30 minutos de aquecimento e com variação da temperatura ambiente menor do que $\pm 3^\circ\text{C}$.

Intervalo de temperatura de operação: 0 a 50°C .

3.1.2 - Fonte Fria ("Ice point reference").

Utilizamos, como fonte fria, o modelo K 140 da Kaye Instruments.

3.1.2.1 - Especificações técnicas.

Temperatura de referência 0°C .

Precisão: $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ (típica).

Estabilidade: $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ (típica).

Erro total do instrumento: $\pm 0,02^{\circ}\text{C}$ (típico).

$\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ (máximo)

Intervalo de temperatura ambiente: 35° ($1,67^{\circ}$) a 108°F (42°C).

Tempo de estabilização: 30 minutos (típico).

90 minutos (máximo).

3.1.3 - Termômetro.

Utilizamos o termômetro digital, modelo 2801 A da Hewlett Packard.

3.1.3.1 - Especificações técnicas.

Intervalo de temperatura: -80 a $+250^{\circ}\text{C}$.

Resolução: 0,01 a 0,0001 ($^{\circ}\text{C}$).

Linearidade: desvio máximo na faixa 0 a $+100^{\circ}\text{C}$ igual a $0,05^{\circ}\text{C}$, referida à melhor reta passando por 0°C .

Sensor: cristal de quartzo.

3.1.4 - Potenciômetro

Utilizamos, para a medida da f.e.m., o modelo 7555 tipo K-5 da Leeds & Northrup Company.

3.1.4.1 - Especificações técnicas.

Intervalos: $-0,00005$ a $+1,61105\text{V}$, com seletor em 1,6

$-0,000005$ a $+0,161105\text{V}$, com seletor em 0,16

$-0,0000005$ a $+0,0161105\text{V}$, com seletor em 0,016

Limites de erro:

($\pm 0,003\%$ da leitura + $3\mu\text{V}$) * com seletor em 1,6

($\pm 0,005\%$ da leitura + $0,3\mu\text{V}$) * com seletor em 0,16

($\pm 0,005\%$ da leitura + $0,1\mu\text{V}$) com seletor em 0,016

*chave A em posição diferente de zero.

Regulação de medidas

interruptor A: 15 medidas de 0,1V por medida

interruptor B: 10 medidas de 0,01V por medida

interruptor C: 10 medidas de 0,001V por medida

interruptor D: - 50 a + 1050 μ V, com resolução de 0,5 μ V

Resistência interna: variável de 10 a 280 ohms.

3.2 - Material utilizado.

3.2.1 - Caixa adiabática.

Utilizou-se uma garrafa térmica comum, que preencheu satisfatoriamente os requisitos para uma caixa adiabática necessária à experiência.

3.2.2 - Amostra.

Utilizou-se uma amostra em aço inoxidável de 9 mm de diâmetro por 3 mm de espessura, amostra esta utilizada na determinação de parâmetros térmicos por laser pulsado.

3.2.3 - Termopares

Utilizaram-se dois termopares, a saber: Cromel-Alumel e Ferro-Constantan.

3.2.4 - Conjunto fixador do termopar.

Conforme podemos observar na figura 3, o conjunto fixador é feito de lucite, no qual introduzimos a amostra e os terminais do termopar.

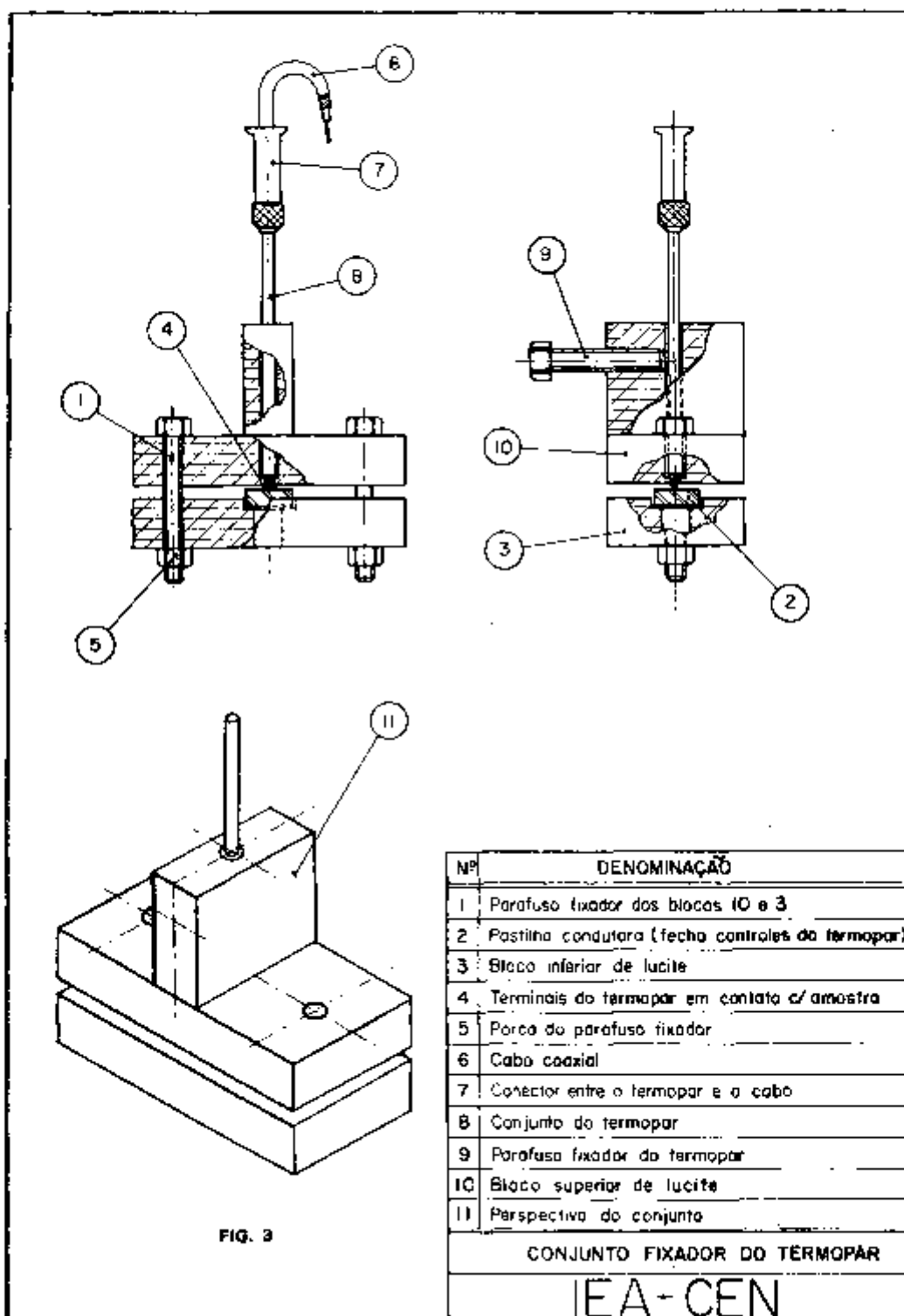
3.2.5 - Unidade térmica.

A figura 4, mostra que a unidade térmica é constituída pelo transistor, o termistor PTC e o dissipador.

3.3 - Descrição da experiência.

Acoplou-se, à unidade térmica, o sensor de quartzo e o conjunto fixador do termopar com a amostra de aço inoxidável.

Todo o conjunto foi introduzido na garrafa térmica, dentro da qual havia óleo. O óleo foi utilizado para permitir uma melhor homogeneidade da temperatura. Fechou-se a garrafa, a fim de impedir escape de calor.



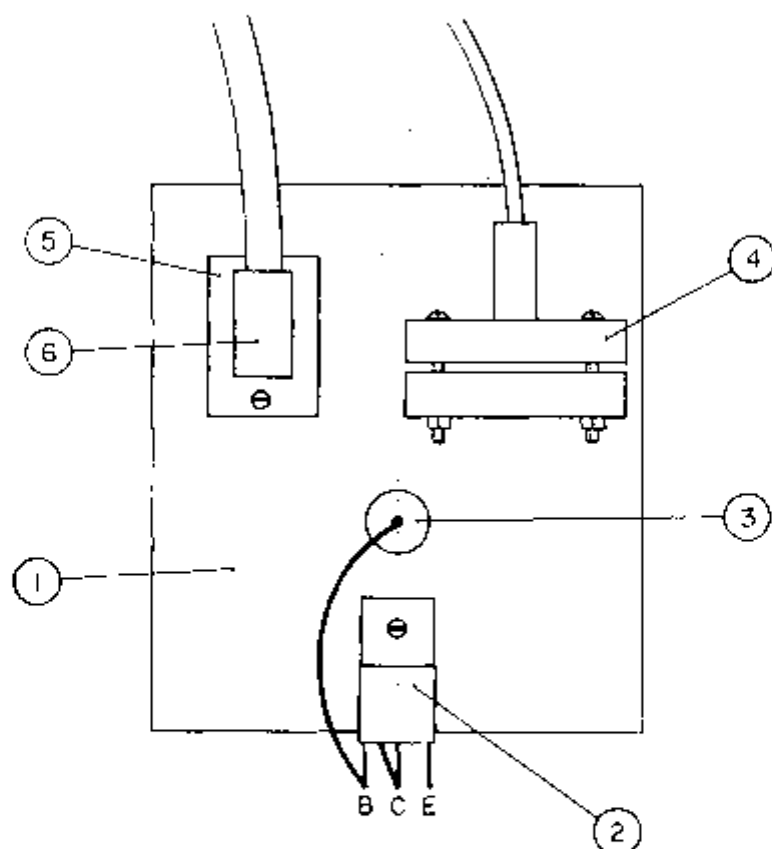
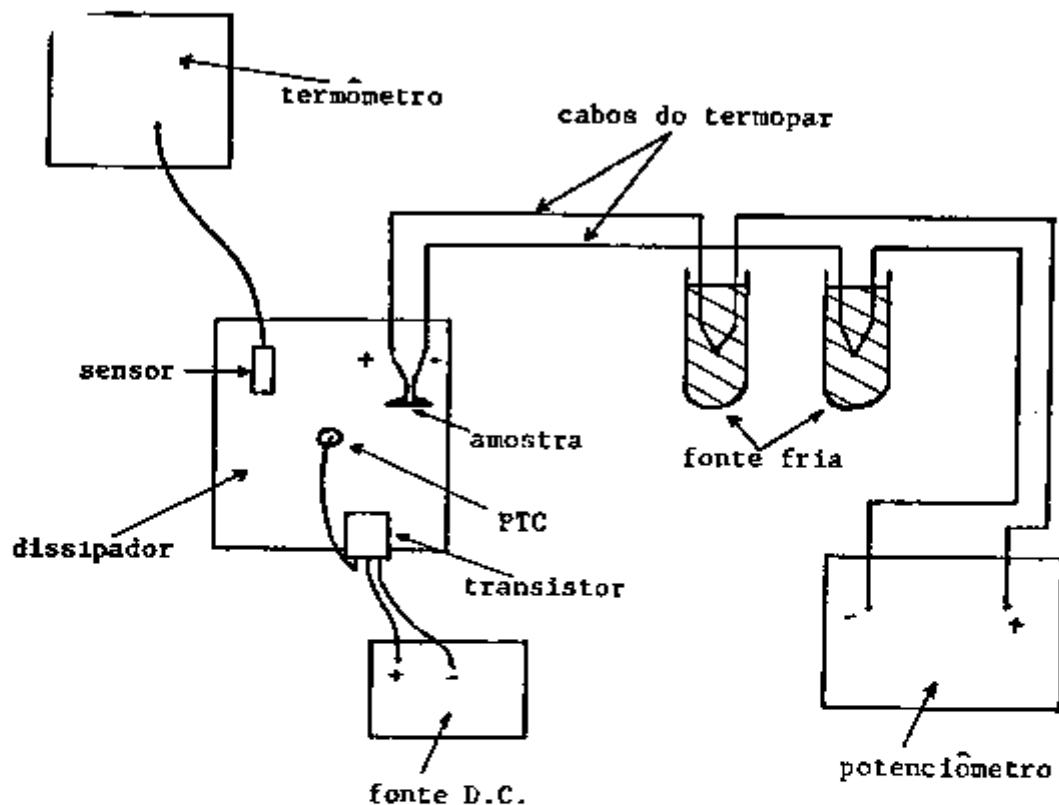


FIG. 4

Nº	DENOMINAÇÃO
B	BASE
C	COLETOR
E	EMISSOR
1	DISSIPADOR
2	TRANSISTOR
3	TERMISTOR PTC
4	CONJUNTO FIXADOR DO TERMOPAR
5	PLACA DE LUCITE
6	TERMOMETRO
UNIDADE TERMICA	
IEA-CEN	

Esquemáticamente, o conjunto achava-se assim formado.



Fizeram-se duas séries de medidas que serão apresentadas em seguida.

Por motivos expostos no item 2.2.4.3, o intervalo de temperatura utilizado foi de 60 a 90°C.

3.3.1 - Termopar Ferro-Constantan.

f.e.m (mV)	temperatura (°C)
3,340	64,30
3,592	69,05
3,777	72,15
3,958	75,65
4,226	80,53
4,353	82,86
4,499	85,48
4,671	88,65

3.3.2 - Termopar Cromel-Alumel.

f.e.m (mV)	temperatura (°C)
2,658	62,75
2,755	64,93
2,340	66,88
2,976	70,00
3,050	71,63
3,271	76,95
3,461	81,42
3,637	85,50

3.4 - Ajuste de curvas.

Com os dados obtidos experimentalmente, determinamos graficamente os pares correspondentes (mV, °C) e obtivemos os gráficos das figuras 5 e 6.

Da posse destes dados, fizemos o ajuste das curvas, utilizando o método dos quadrados mínimos, por meio do programa PART Nº 09100 - 70803, cujo título é: **Regressão linear e coeficiente de correlação**. Este programa encontra-se no apêndice 2 e foi processado pela calculadora Hewlett Packard 9100 B. Por meio dele obtivemos a equação $T = mV + b$, da melhor reta possível de ser obtida com os pontos experimentais. Além disso, obtivemos também o coeficiente de correlação r que indica a qualidade do ajuste. Nota-se que $-1 \leq r \leq 1$, onde o sinal corresponde ao declive m . Se $r=0$ não há correlação e se $r = \pm 1$, ocorrerá uma correlação perfeita ou um perfeito ajuste.

3.4.1 - Equações das retas obtidas.

3.4.1.1 - Termopar Ferro-Constantan.

$$r = 1,000$$

$$b = 3,307$$

$$m = 18,289$$

$$\therefore T = 18,289 V + 3,307 \text{ onde } V \text{ corresponde à f.e.m. medida.}$$

3.4.1.2 - Termopar Cromel-Alumel.

$$r = 1,000$$

$$b = 0,657$$

$$m = 23,321$$

$$\therefore T = 23,321 V + 0,657 \text{ onde } V \text{ corresponde à f.e.m. medida.}$$

3.4.1.3 - Comentário .

Como pudemos observar, nos dois casos, temos r igual a 1,000, o que significa um perfeito ajuste. Entretanto, observamos também que apesar do ajuste perfeito a reta referida afasta-se da reta teórica, pois a reta teórica é da forma $T = mV$ e a por nós obtida é da forma $T = mV + b$. Portanto, calculamos o desvio padrão σ para o declive da reta.

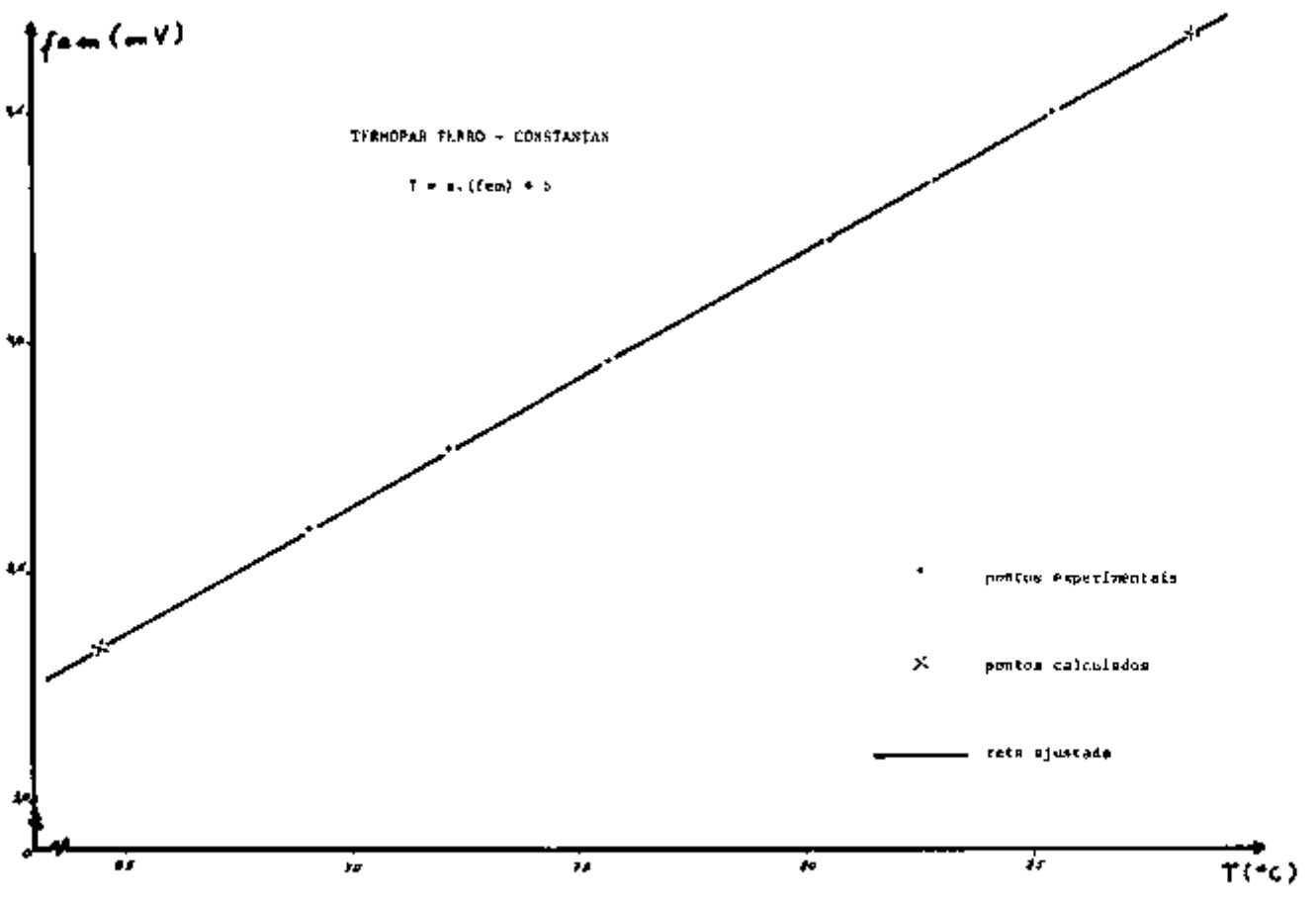


FIG. 5

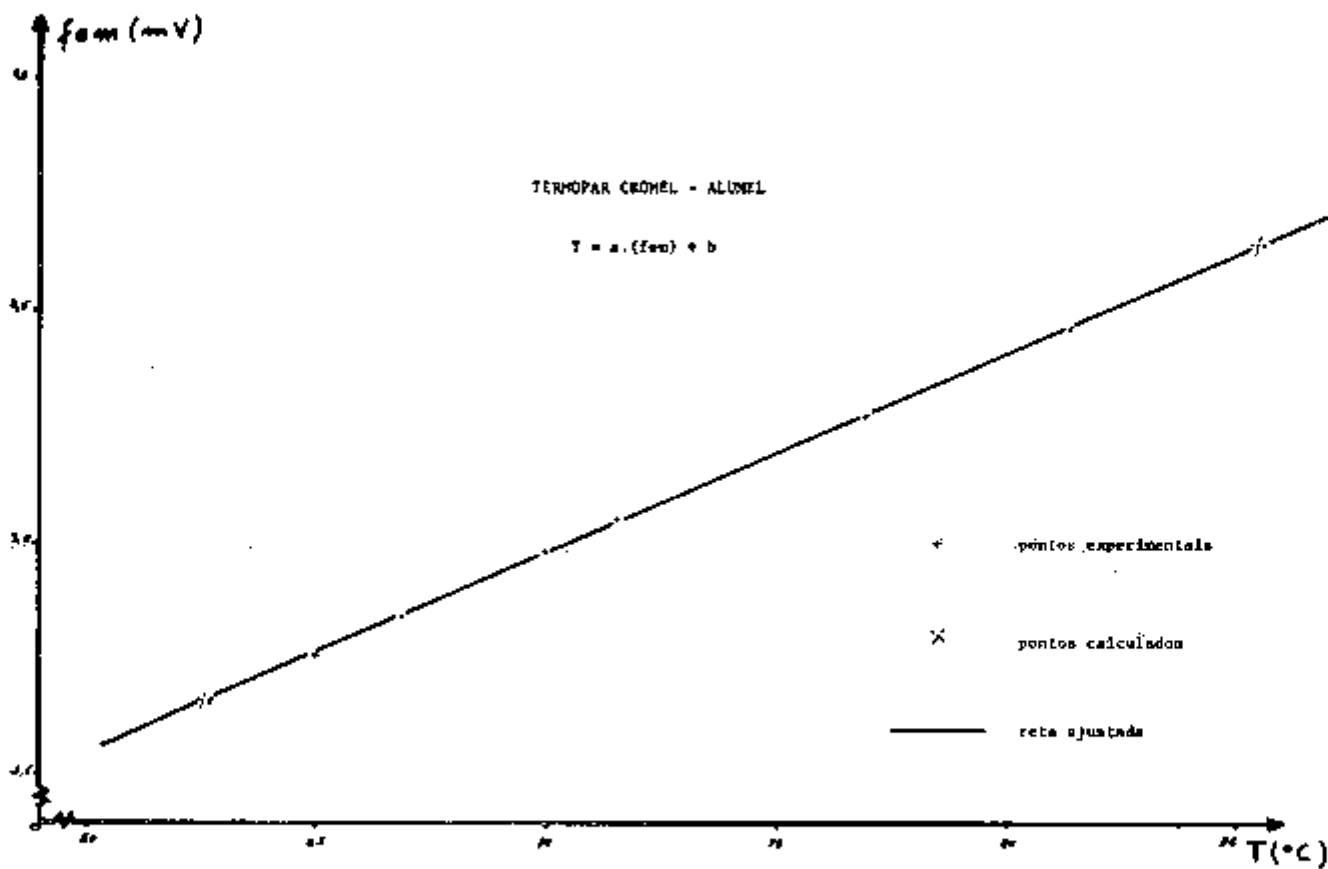


FIG. 6

3.4.1.4 - Cálculo do desvio padrão.

Suponhamos $T = mV$ e calculemos qual é o desvio padrão σ referente ao declive m . A seguir, obteremos 2σ e 3σ a fim de saber se devemos considerar todos os pontos experimentais ou eliminar alguns.

Seja $T = mV$, portanto $m = T/V$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(m - \bar{m})^2}{N - 1}}$$

onde N é o número de pontos experimentais.

Utilizaremos os valores de T e V das tabelas dos itens 3.3.1 e 3.3.2

3.4.1.4.1 - Termopar Ferro-Constantan.

	m	$(m - \bar{m})$	$(m - \bar{m})^2$
	19,257	0,162	0,0264
	19,220	0,126	0,0158
	19,101	0,007	0,00004
	19,112	0,017	0,0003
	19,055	-0,040	0,0016
	19,033	-0,061	0,0038
	19,001	-0,093	0,0087
	18,977	-0,118	0,0138
Σ	152,758		0,0704

$$\bar{m} = \frac{152,758}{8} = 19,095$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(m - \bar{m})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{0,0704}{7}} = \sqrt{0,0100} = 0,100\sigma$$

$$\sigma = 0,1000$$

$$2\sigma = 0,2000$$

$$3\sigma = 0,3000$$

3.4.1.4.2 - Termopar Cromel-Alumel.

	m	$(m-\bar{m})$	$(m-\bar{m})^2$
	23,608	0,072	0,0051
	23,568	0,032	0,0010
	23,551	0,015	0,0002
	23,519	-0,017	0,0003
	23,485	-0,051	0,0026
	23,522	-0,014	0,0002
	23,526	-0,010	0,0001
	23,511	-0,025	0,0006
Σ	188,290		0,0101

$$\bar{m} = \frac{188,290}{8} = 23,536$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(m-\bar{m})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{0,0161}{7}} = \sqrt{0,0023} = 0,0387$$

$$\sigma = 0,0387$$

$$2\sigma = 0,0774$$

$$3\sigma = 0,1161$$

Como se pode observar pelos itens 3.4.1.4.1 e 3.4.1.4.2, para um intervalo: média $\pm 2\sigma$ temos 95,45% dos pontos incluídos, e para média $\pm 3\sigma$ temos 99,73%. É fácil ver que, mesmo para um intervalo de $\pm 2\sigma$, todos os pontos incluem-se dentro deste intervalo.

3.5 - Erro máximo das leituras.

O item 3.1 mostra que a instrumentação usada é de alta precisão. Daí, o erro proveniente dos instrumentos ser mínimo. Restaria, então, os erros experimentais. A fim de fazermos uma verificação desses erros, procuramos ver se havia repetição no sistema. Fizemos novas medidas, que vieram a mostrar que o fenômeno se repete sistematicamente, diminuindo assim, os possíveis erros experimentais.

Seguem duas tabelas ilustrativas do fato.

3.5.1 - Termopar Cromel-Alumel.

f.e.m. (mV)	T(°C)	m(°C/mV)
2,982	70,75	23,726
3,189	75,56	23,757
3,452	81,76	23,682

3.5.2 - Termopar Ferro-Constantan.

f.e.m.(mV)	T(°C)	m(°C/mV)
3,597	68,76	19,116
3,903	74,47	19,080
4,203	80,00	19,032

Considerando os erros experimentais e os da instrumentação, obtém-se um erro máximo de 0,25%.

4 - Comentários e Conclusões.

Tomando por base os dois objetivos deste trabalho, pudemos tirar algumas conclusões e faremos observações sobre alguns aspectos para a melhoria do conjunto utilizado.

- O comportamento da fonte de calor foi bom, pois conseguimos temperaturas estáveis pelo tempo desejado (2 minutos). Entretanto, poderemos obter tempos de estabilidade maiores para a temperatura, desde que possamos aprimorar o conjunto, a caixa adiabática utilizada e a fiação utilizada, pois a maior parte da perda de calor observada, se deu pela tampa e principalmente pela fiação.
- O circuito eletrônico pode ser mais aprimorado, acrescentando-se mais um ou dois estágios ao circuito original.
- Verificamos que a resistência de contato termopar-amostra não influi dentro dos limites de resistências compatíveis com o termopar, aproximadamente cinco vezes mais.
- A calibração de um termopar deve ser feita, em particular, para aquele termopar, supondo que suas pontas estão soldadas (em nosso caso, a junção era feita pela amostra) então, a precisão da medida só estará limitada pela precisão dos instrumentos e aparelhos utilizados na calibração.
- Considerando-se um termopar com a junção quente apenas encostada em uma amostra condutora qualquer, esta pode ser considerada como uma junção soldada, desde que sua posição na amostra seja imutável. Isto é, não podemos romper o contato e depois restabelecê-lo, ainda que sejam os mesmos fios do termopar e a mesma amostra. Se isso por ventura ocorrer, poderemos ter variações de

aproximadamente $\pm 1^\circ\text{C}$ na calibração. Isso é válido no caso de determinação de parâmetros térmicos pelo método de laser pulsado. Entretanto, em casos gerais, desejamos apenas medir diferenças de temperatura, no qual o erro de 1°C será eliminado.

- Considerando-se termopares construídos com fios da mesma procedência poderemos ter variações na calibração de até aproximadamente $\pm 2^\circ\text{C}$.
- Considerando-se termopares construídos com fios de diferentes procedências, obtemos variações que dependerão da precisão com que foram feitas as ligas e o cuidado utilizado na sua homogeneização. Nesse caso, encontram-se usualmente diferenças de até 3°C .
- Se o meio ambiente utilizado for o ar, no caso presente utilizamos óleo, o tempo de estabilização deverá ser aumentado.
- Apenas para uma referência, poderemos fazer comparações dos nossos dados com a tabela constante no apêndice 3 e com os dados do artigo "Thermocouples" de R. Lacroix.

APÊNDICE 1

Transistor de silício NPN, tipo mesa AR 17

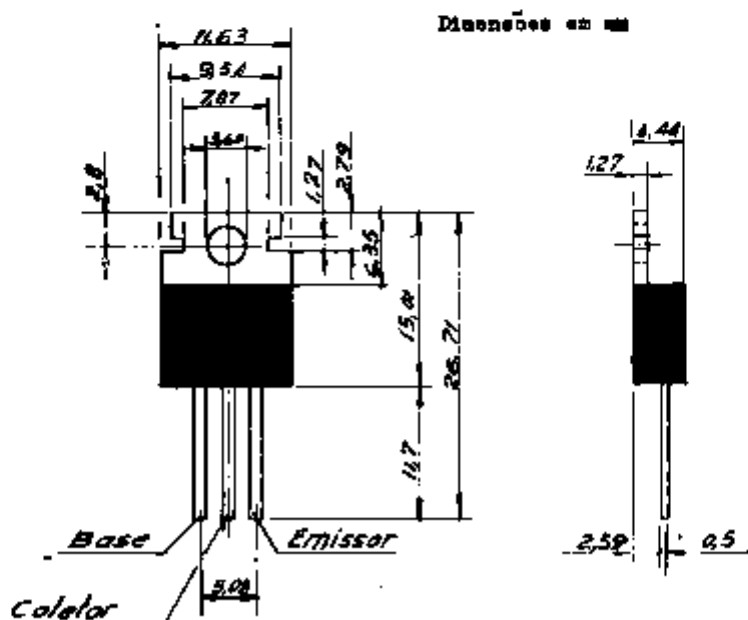
Aplicações:

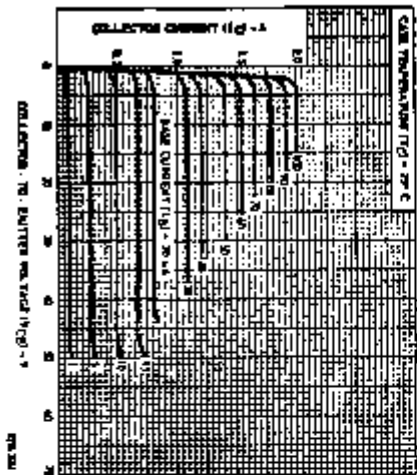
Transistor de Potência para estágios de saída de áudio

Características Máximas:

Dissipação a 25°C embalagem 36 W
 Dissipação a 150°C embalagem 0 W
 Temperatura de armazenagem -65 a + 150°C
 Corrente de coletor 3 A

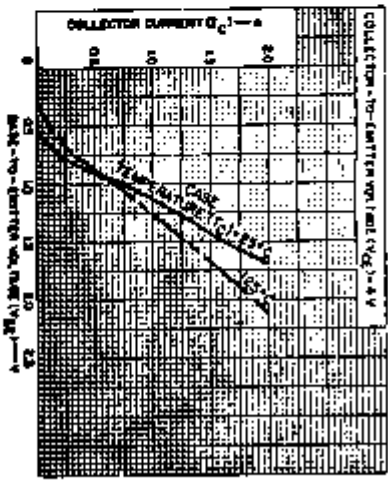
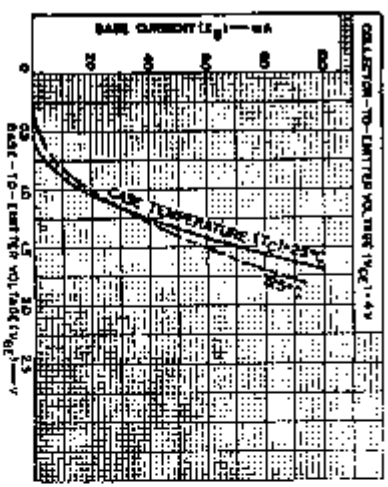
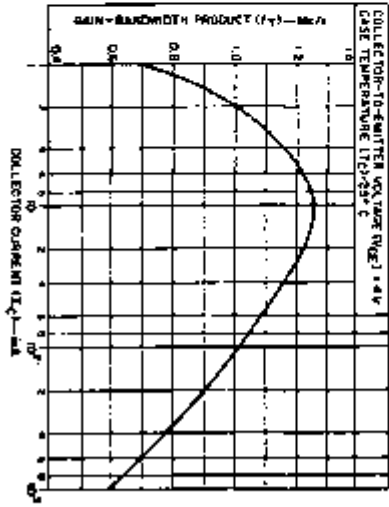
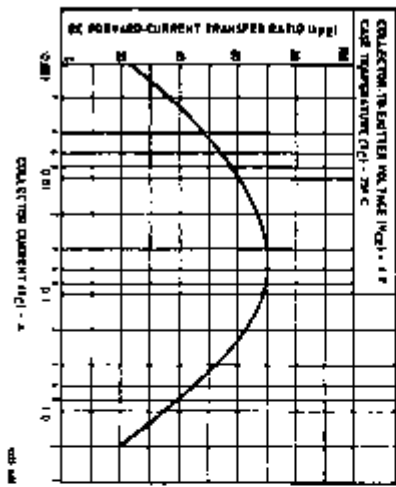
Características Elétricas (25°C)				
DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	MÍNIMA	MÁXIMA	CONDIÇÕES
Tensão de ruptura coletor-emissor	V_{CB0}	35V		$I_C = 0,2 A$ $I_E = 0,2 A$
Tensão de ruptura emissor-base	V_{EB0}	5V		
Corrente de fuga do coletor	I_{CBO}		1,5 mA	$V_{CB} = 14 V; T = 150^\circ C$
			100 μ	$V_{CB} = 14 V; T = 25^\circ C$
Ganho de corrente estática	h_{FE}	30	250	$V_{CE} = 14 V; I_C = 0,5 A$
Tensão de saturação coletor-emissor	$V_{CE(SAT)}$		1,2 V	$I_C = 1,0 A; I_B = 50 mA$
Frequência de Transição	f_T	1,2MHz		$V_{CE} = 4 V; I_C = 0,2 A$
Assistência térmica junção-embalagem	θ_{JC}		3,5°C/W	





AR 17

ESPECIFICAÇÕES
EXPERIMENTAIS



APÉNDICE 2

"Linear Regression and Correlation Coefficient"

This program calculates the equation of the straight line of best fit of a set of data points. The best fit is determined by minimizing the sum of the squares of the deviations of the data points from the line.

The program calculates m and b for the equation

$$Y = mX + b.$$

The program also calculates a correlation coefficient r , an indication of goodness of fit. Note $-1 \leq r \leq 1$ where the sign corresponds to the slope m . If $r = 0$ there is no correlation, and if $r = \pm 1$ there is perfect correlation or a perfect fit.

The defining equations are

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$b = \bar{Y} - m\bar{X}$$

where

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad \text{and} \quad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

USER INSTRUCTIONS

ENTER PROGRAM (Starting Address is 0-0)

PRESS: GO TO (0) (0) [or END]

PRESS: CONTINUE

DISPLAY

0	—	Z
0	—	Y
1	—	X

(i indicates pair of points to be entered)

ENTER DATA: $Y_1 \rightarrow Y, X_1 \rightarrow X$

PRESS: CONTINUE

NO

Last Entry?

YES

PRESS: SET FLAG

PRESS: CONTINUE

DISPLAY

r	—	Z
b	—	Y
m	—	X

EXAMPLES

X	Y
---	---

26	92
----	----

30	85
----	----

44	78
----	----

50	81
----	----

62	54
----	----

68	51
----	----

74	40
----	----

$$r = -.96$$

$$b = 121.04$$

$$m = -1.03$$

$$Y = -1.03X + 121.04$$

X	Y
---	---

0	1
---	---

1	3
---	---

2	2
---	---

3	4
---	---

4	5
---	---

$$r = .9$$

$$b = 1.2$$

$$m = .9$$

$$Y = .9X + 1.2$$

Step	Key	Code	Display			Storage									
			x	y	z	t	u	v	w	x	y				
0	0	clear													
1	X+1	23													
2	d	17													
3	X+1	23													
4	C	16	CLEAR STORAGE REGISTERS												
5	X+1	23													
6	b	14													
7	1	01	DISPLAY 1 TO INDICATE FIRST ENTRY												
8	X+1	23													
9	a	13													
1	STOP	41	x _i	y _i	0	ENTER X _i AND Y _i									
b	n CLAS	43													
c	3	03	BRANCH AFTER LAST ENTRY												
d	7	07													
0	ACC +	60	CALCULATE ΣX_i AND ΣY_i												
1	↑	27													
2	X	36													
3	XZY	30													
4	yz ¹¹	24	CALCULATE Σx_i^2												
5	d	17													
6	+	33													
7	yz ¹¹	24													
8	d	17													
9	+	25													
a	X	36	CALCULATE $\Sigma x_i y_i$												
b	b	14													
c	+	33													
d	y+1	40													
2	0	b													
1	ROLL ↑	22													
2	↑	27													
3	X	36													
4	C	16	CALCULATE Σy_i^2												
5	+	33													
6	y-(1)	40													
7	C	16													
8	a	13													
9	↑	27													
3	↑	01	INCREMENT COUNTER												
b	+	33													
c	y+1	40													
d	a	13													

FROM 3-6

Step	Key	Code	Display			Storage					
			x	y	z	f	e	d	c	b	a
3	0	00									
	1	Null ↓									
	2	xzy									
	3	↓									
	4	00701 (1)									
	5	0	00								
	6	a	13								
	7	a	13								
	8	↑	27								
	9	1	01								
4	a	-									
	b	↓									
	c	z+1	23								
	0	a	13								
	0	e	12								
	1	↑	27								
	2	a	13								
	3	↓	35								
	4	y211	24								
	5	F	15								
5	6	↓									
	7	y-1	40								
	8	e	12								
	9	X	36								
	a	e	12								
	b	X	36								
	c	d	17								
	d	xzy	30								
	0	-	34								
	1	y+1	40								
6	2	d	17								
	3	c	16								
	4	↑	27								
	5	F	15								
	6	↑	27								
	7	X	36								
	8	a	13								
	9	X	36								
	a	↓	25								
	b	-	34								
c	y+1	40									
d	c	16									

FROM 0-d

CLEAR DISPLAY REGISTERS
AND RECALL COUNTER

DECREMENT COUNT

CALCULATE \bar{Y} CALCULATE \bar{X} CALCULATE $\Sigma(x_i - \bar{X})^2$ CALCULATE $\Sigma(y_i - \bar{Y})^2$

APÉNDICE 3

Force électromotrice des Thermocouples Chromel - Alumel

Norme ISA (soudure froide à 0°C)
Valable pour les Thermocouples type 2 AB

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
millivolts												
-190	-5,60	-5,62	-5,63	-5,65	-5,67	-5,68	-5,70	5,71	-5,73	-5,74	-5,75	-190
-180	-5,43	-5,45	-5,46	-5,48	-5,50	-5,52	-5,53	-5,55	-5,57	-5,58	-5,60	-180
-170	-5,24	-5,26	-5,28	-5,30	-5,32	-5,34	-5,35	-5,37	-5,39	-5,41	-5,43	-170
-160	-5,03	-5,05	-5,08	-5,10	-5,12	-5,14	-5,16	-5,18	-5,20	-5,22	-5,24	-160
-150	-4,81	-4,84	-4,86	-4,88	-4,90	-4,92	-4,95	-4,97	-4,99	5,01	5,03	-150
-140	-4,58	-4,60	-4,62	-4,65	-4,67	-4,70	-4,72	-4,74	-4,77	-4,79	-4,81	-140
-130	-4,32	-4,35	-4,37	-4,40	-4,42	-4,45	-4,48	-4,50	-4,52	-4,55	-4,58	-130
-120	-4,06	-4,08	-4,11	-4,14	-4,16	-4,19	-4,22	-4,24	-4,27	-4,30	-4,32	-120
-110	-3,78	-3,81	-3,84	-3,86	-3,89	-3,92	-3,95	-3,98	-4,00	-4,03	-4,06	-110
-100	-3,49	-3,52	-3,55	-3,58	-3,61	-3,64	-3,66	-3,69	-3,72	-3,75	-3,78	-100
-90	-3,19	-3,22	-3,25	-3,28	-3,31	-3,34	-3,37	-3,40	-3,43	-3,46	-3,49	-90
-80	-2,87	-2,90	-2,93	-2,96	-3,00	-3,03	-3,06	-3,09	-3,12	-3,16	-3,19	-80
-70	-2,54	-2,57	-2,61	-2,64	-2,67	-2,71	-2,74	-2,77	-2,80	-2,84	-2,87	-70
-60	-2,20	-2,24	-2,27	-2,30	-2,34	-2,37	-2,41	-2,44	-2,47	-2,51	-2,54	-60
-50	-1,86	-1,89	-1,93	-1,96	-2,00	-2,03	-2,07	-2,10	-2,13	-2,17	-2,20	-50
-40	-1,50	-1,54	-1,57	-1,61	-1,64	-1,68	-1,72	-1,75	-1,79	-1,82	-1,86	-40
-30	-1,14	-1,17	-1,21	-1,25	-1,28	-1,32	-1,36	-1,39	-1,43	-1,47	-1,50	-30
-20	-0,77	-0,80	-0,84	-0,88	-0,92	-0,95	-0,99	-1,03	-1,06	-1,10	-1,14	-20
-10	-0,39	-0,42	-0,46	-0,50	-0,54	-0,58	-0,62	-0,66	-0,69	-0,73	-0,77	-10
(-) 0	-0,00	-0,04	-0,08	-0,12	-0,16	-0,19	-0,23	-0,27	-0,31	-0,35	-0,39	(-) 0
(+) 0	0,00	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40	(+) 0
10	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64	0,68	0,72	0,76	0,80	10
20	0,80	0,84	0,88	0,92	0,96	1,00	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20	20
30	1,20	1,24	1,28	1,32	1,36	1,40	1,44	1,49	1,53	1,57	1,61	30
40	1,61	1,65	1,69	1,73	1,77	1,81	1,85	1,90	1,94	1,98	2,02	40
50	2,02	2,06	2,10	2,14	2,18	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39	2,43	50
60	2,43	2,47	2,51	2,56	2,60	2,64	2,68	2,72	2,76	2,80	2,85	60
70	2,85	2,89	2,93	2,97	3,01	3,05	3,10	3,14	3,18	3,22	3,26	70
80	3,26	3,30	3,35	3,39	3,43	3,47	3,51	3,56	3,60	3,64	3,68	80
90	3,68	3,72	3,76	3,81	3,85	3,89	3,93	3,97	4,01	4,06	4,10	90
100	4,10	4,14	4,18	4,22	4,26	4,31	4,35	4,39	4,43	4,47	4,51	100
110	4,51	4,55	4,60	4,64	4,68	4,72	4,76	4,80	4,84	4,88	4,92	110
120	4,92	4,96	5,01	5,05	5,09	5,13	5,17	5,21	5,25	5,29	5,33	120
130	5,33	5,37	5,41	5,45	5,49	5,53	5,57	5,61	5,65	5,69	5,73	130
140	5,73	5,77	5,81	5,85	5,89	5,93	5,97	6,01	6,05	6,09	6,13	140
150	6,13	6,17	6,21	6,25	6,29	6,33	6,37	6,41	6,45	6,49	6,53	150
160	6,53	6,57	6,61	6,65	6,69	6,73	6,77	6,81	6,85	6,89	6,93	160
170	6,93	6,97	7,01	7,05	7,09	7,13	7,17	7,21	7,25	7,29	7,33	170
180	7,33	7,37	7,41	7,45	7,49	7,53	7,57	7,61	7,65	7,69	7,73	180
190	7,73	7,77	7,81	7,85	7,89	7,93	7,97	8,01	8,05	8,09	8,13	190
200	8,13	8,17	8,21	8,25	8,29	8,33	8,37	8,41	8,46	8,50	8,54	200
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

ABSTRACT

Presently, it is common to use thermocouples to determine the temperature of any fluid.

Beyond the normal cares in their use, one have to calibrate them; for this, a heat source may be used.

Now, power transistors can be used as heat source; thermistors are put in the circuit so that one gets stable temperatures feedback.

RÉSUMÉ

Actuellement, il est commun d'utiliser des thermocouples pour déterminer la température d'un fluid quelconque.

En plus des précautions habituelles relatives à leur emploi, il faut les calibrer; pour cela, on utilise un source de chaleur.

Les transistors de puissance peuvent maintenant être utilisés comme sources de chaleur; des thermistors sont placés dans le circuit, afin d'obtenir des températures, par réalimentation.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LACROIX, R. Thermocouples. In: DEBAENE, J., dir. *Techniques de l'ingénieur: mesures et controle*, v.3. Paris, 1972. R 2590, p.1-19.

N. V. PHILIPS, GLOEILAMPENFABRIEKEN, Eindhoven, PTC Thermistor. In: (Catálogos gerais). Eindhoven, July 1968/Sep 1969.

PIERRE, J. E. *Dispositivos e circuitos de eletrônica aplicada*. São Paulo, E. Blücher, 1967. v.1, p.393-450.

SPIEGEL, M. R. *Estatística*. Rio de Janeiro, McGraw-Hill, 1970. p.362-445.