



1

Unidade 03

Medição da Temperatura

Profª Ninoska Bojorge

Departamento de Engenharia Química e de Petróleo – UFF

Sumario

2

- 1) Introdução: Definição
- 2) Escala de Medição de Temperatura
- 3) Aplicações
- 4) Instrumentos de Medição de Temperatura
 - 4.1) Dispositivos de expansão de liquido
 - 4.2) Elementos bi-metálicos
 - 4.3) Sensores elétricos
 - Termitors
 - RTD (Resistive Temperature Detector)
 - Termopar
 - 4.4) Médidores sem contato
- 5) Transdutores de Temperatura
- 6) Malhas de controle
- 7) Experimento

1. Introdução

3

Temperatura, T

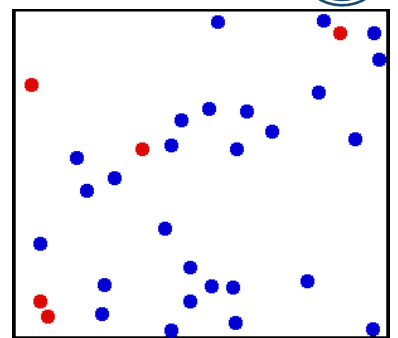
- A temperatura é uma das variáveis mais medidas e comuns nos processos industriais e manufaturas.
- Os processos que são afetados pela temperatura são denominados de processos térmicos.

1. Introdução

4

Definição de Temperatura, T

- O movimento molecular cria calor conhecido como **energia térmica**.
- T é medida da energia cinética média das partículas que compõem um corpo
 - Qto maior é a energia cinética das partículas, maior será a temperatura do corpo
- T é a capacidade de um corpo transferir a energia térmica para outro corpo
 - se dois corpos estão em equilíbrio térmico e energia térmico não é trocada, os corpos estão na mesma T.
- Zero absoluto, $0^{\circ} \text{K} = -273,15^{\circ} \text{C}$ (não movimento molecular) significa que não é produzido calor.



2. Escala de Medição

5

Escala de Temperatura e unidades

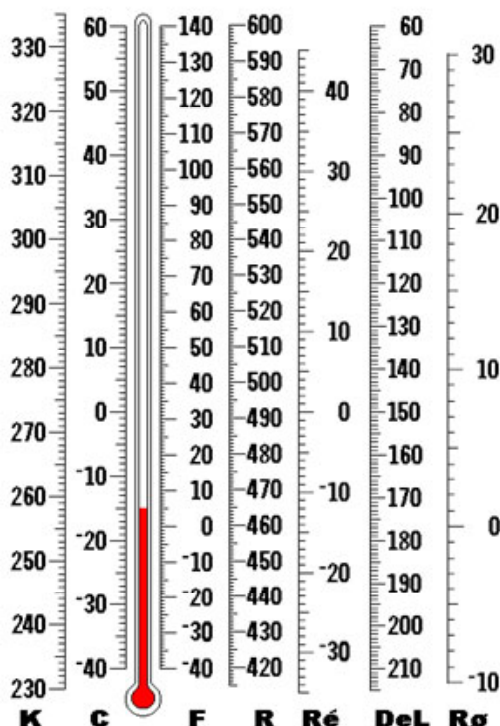
Existem 4 escalas usadas para medir a temperatura:

- Celsius / Fahrenheit são as mais usadas no cotidiano,
- Kelvins/ Rankine são usadas quando trabalhamos em escala absoluta (comumente empregada em engenharia e em pesquisas)

2. Escala de Medição

6

Escala de Temperatura e unidades



$$T_{(C)} = \frac{5^{\circ}C}{9^{\circ}F} (T_{(F)} - 32^{\circ}F)$$

$$T_{(F)} = \frac{9^{\circ}F}{5^{\circ}C} T_{(C)} + 32^{\circ}F$$

Kelvin
 $[K] = [^{\circ}C] + 273.15$

Rankine
 $[^{\circ}R] = [^{\circ}F] + 459.67$

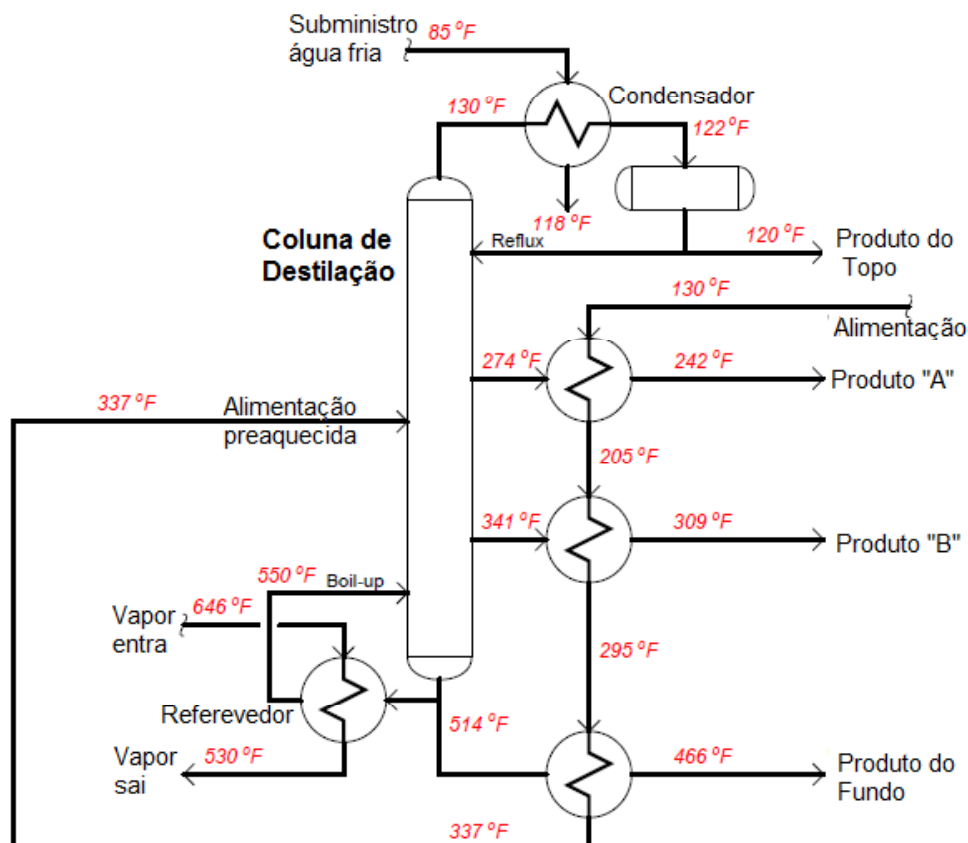
2. Escala de Medição

7

Medição de Temperatura

- Tal como outras medições de variáveis do processo, os dispositivos de medição são divididos em 3 categorias:
 - Indicadores
 - Sensor/transdutor
- O design e construção desses dispositivos é baseado segundo a forma de como os diferentes materiais reagem quando estão sujeitos ao calor e ao tipo de medição requerida, *i.e*, somente indicação, medição de pontos, saída análoga, etc.

3 . Aplicações



3 . Aplicações

- **Transferência de Calor:** A quantidade de calor necessária para elevar ou baixar a temperatura de uma dada massa de um corpo pode ser calculada a partir da seguinte equação

$$Q = WC(T_2 - T_1)$$

Formas de transferência:

Calor por condução $Q = \frac{-kA(T_2 - T_1)}{L}$

Calor por convecção $Q = hA (T_2 - T_1)$

Calor por radiação $Q = CA(T_2^4 - T_1^4)$

4. Instrumentos de Medição de Temperatura

10

Métodos de Medição de Temperatura

Existem vários métodos de medição da temperatura que podem ser classificados do seguinte modo:

1. Expansão de um material para dar uma indicação visual, pressão, ou mudança dimensional (Dispositivos de expansão de líquido)
2. Mudança de resistência elétrica (RTD, Termistor)
3. Semicondutor alteração de característica
4. Tensão gerada por metais diferentes (Termopares)
5. Energia irradiada (pirômetros)

4. Instrumentos de Medição de Temperatura

11

4.1 Termômetros de dilatação

Este tipo de termômetro é baseado no fundamento teórico de quando um líquido é aquecido seu volume ou pressão mudará proporcionalmente à temperatura.

Há 2 tipos:

- Termômetro de tubo de vidro
- Sistema térmico de preenchimento

Termômetros à dilatação de líquidos

12

- os materiais líquidos se dilatam com aquecimento e se contraem com o resfriamento, segundo uma lei de expansão volumétrica a qual relaciona seu volume com a temperatura e o coeficiente de expansão que é próprio de cada material

$$V_T = V_0[1 + \beta_1 \cdot \Delta T + \beta_2 \cdot \Delta T^2 + \beta_3 \cdot \Delta T^3]$$

Em que:

- T=Temperatura do líquido em °C.
- V_0 = Volume do líquido a temperatura inicial de referência °C.
- V_T = Volume do líquido na temperatura T.
- β_1 , β_2 e β_3 = Coeficiente de expansão do líquido em °C⁻¹.
- $\Delta T = T - T_0$.

Coeficiente de dilatação de líquidos

$$V(T) = V_0(1 + aT + bT^2 + cT^3)$$

$$dV/dT = a + 2bT + 3cT^2$$

$$0.81 < a < 1.57 \times 10^{-3}$$

Table 10-42

COEFFICIENTS OF CUBICAL EXPANSION FOR VARIOUS LIQUIDS AND AQUEOUS SOLUTIONS

See also the table *Coefficients of Cubical Expansion For Various Solids*.

If V_0 is the volume at 0°C , then the volume at $t^\circ\text{C} = V_t = V_0(1 + at + bt^2 + ct^3)$. Where the compound is marked with * the basic volume is not that at 0°C , but at some other temperature, t_0 . The equation then reads $V_t = V_{t_0}(1 + a(t - t_0) + b(t - t_0)^2 + c(t - t_0)^3)$. In the case of aqueous solutions, the concentrations in percent are given after the name.

Liquid	Coef. at 20°C , $\times 10^3$	Range $^\circ\text{C}$	$a \times 10^3$	$b \times 10^6$	$c \times 10^8$
Acetic acid	1.071	16 to 107	1.063	-0.12636	1.0876
Acetone	1.487	0 to 54	1.324	3.869	-0.87983
Allyl alcohol	1.049	0 to 94	0.97019	1.8225	0.36452
Allyl bromide	1.241	0 to 69	1.2275	-0.44365	2.5843
Allyl chloride	1.475	9 to 44	1.3218	5.078	-4.1915
Allyl ether	1.346	0 to 88	1.2519	2.2401	0.35775
Allyl iodide	1.091	0 to 101	1.0539	0.63572	1.0036
Amyl acetate	1.162	0 to 124	1.1501	-0.09046	1.3015
Amyl alcohol	0.902	-15 to 80	0.89001	0.65729	1.18458
Amyl benzoate	0.848	0 to 198	0.81711	0.7377	0.10593
Amyl bromide	1.102	0 to 80	1.02321	1.90086	0.19766
Amyl chloride	1.208	0 to 100	1.17155	0.50077	1.35368
Amyl iodide	0.986	20 to 142	0.92658	1.4647	0.05962
Aniline	0.858	0 to 141	0.82349	0.8408	0.10741
Arsenic chloride	1.020	-15 to 130	0.97907	0.96995	0.17772
Benzene	1.237	11 to 81	1.17626	1.27755	0.80648
Benzoyl chloride	0.880	12 to 146	0.85893	0.44219	0.27139
Bromine	1.113	-7 to 60	1.03819	1.71138	0.54471
n-Butyl alcohol	0.950	6 to 108	0.83751	2.8634	-0.12415
n-Butyric acid	1.063	0 to 100	1.02573	0.83760	0.34694
iso-Butyric acid	1.068	16 to 118	0.97626	2.3976	-0.32145
Calcium chloride, 40.9%	0.458	17 to 24	0.42383	0.8571	.....
Cane sugar, 43.2%	0.343	0 to 35	0.2536	2.247	.....
n-Capric acid	0.975	15 to 155	0.94413	0.68358	0.26586
Carbon disulfide	1.218	-34 to 68	1.1398	1.37065	1.91225
Carbon tetrachloride	1.236	0 to 76	1.18384	0.89881	1.35135
Chloral	0.934	13 to 51	0.9545	-2.2139	5.6392
Chloroform	1.273	0 to 63	1.10715	4.66473	-1.74328
o-Cresol	.....	66 to 186	0.71072	1.484	0.2242
m-Cresol	.....	65 to 194	0.77526	0.27102	0.3688
p-Cresol	.....	66 to 186	0.86476	0.53912	0.64418
Cymene	0.946	0 to 100	0.895	1.277	.....
Diallyl	1.375	0 to 60	1.3423	-0.34339	3.8693
Diethyl ketone	1.233	0 to 95	1.15342	1.88396	0.32021
Dipropyl	1.381	0 to 66	1.2948	1.7471	1.2363
Ethyl acetate	1.389	-36 to 72	1.2585	2.96688	0.14922
Ethyl alcohol	.....	0 to 80	1.04139	0.7638	1.7618
Ethyl alcohol 50%	.....	0 to 39	0.7450	1.65	0.730
Ethyl benzoate	0.900	0 to 159	0.86008	0.8229	0.12084
Ethyl benzene	0.961	24 to 131	0.86172	2.5344	-0.18319
Ethyl bromide	1.418	-32 to 54	1.33763	1.50135	1.6900
Ethyl chloride	1.706	-32 to 26	1.57458	2.81366	1.56987
Ethyl ether	1.656	-15 to 38	1.51324	2.35918	4.00512
Ethyl formate	1.417	0 to 63	1.36446	0.13538	3.9248
Ethyl iodide	1.179	10 to 65	1.1520	0.26032	1.4181
Ethyl nitrate	1.299	9 to 72	1.1290	4.7915	-1.8413
Ethyl oxalate	1.136	0 to 141	1.06031	1.0983	2.6657

Table 10-42 (Continued)

COEFFICIENTS OF CUBICAL EXPANSION FOR VARIOUS LIQUIDS AND AQUEOUS SOLUTIONS

Liquid	Coef. at 20°C , $\times 10^3$	Range $^\circ\text{C}$	$a \times 10^3$	$b \times 10^6$	$c \times 10^8$
Ethyl sulfide	1.278	0 to 90	1.19643	1.80653	0.78821
Ethylene chloride	1.161	-28 to 84	1.11893	1.0469	0.10342
Ethylene glycol	0.6375	11 to 136	0.5657	1.7074	0.293
Formic acid	1.025	5 to 104	0.99269	0.62514	0.5965
Glycerol	0.505	.....	0.4853	0.4895	.....
iso-Hexane	1.445	0 to 55	1.37022	0.97849	2.9019
Hydrochloric acid, 33.2%	0.455	0 to 33	0.4460	0.215	.....
4.2%	0.239	0 to 33	0.0652	4.355	.....
1.0%	0.211	0 to 32	0.0153	4.899	.....
*3.4%, $t_0 = 110^\circ$	.....	110 to 140	0.620	4.5	.....
Isoprene	1.567	0 to 33	1.4603	0.99793	5.60149
Mercury	.....	0 to 100	0.18169041	0.002951266	0.0114562
.....	.....	24 to 299	0.181163	0.01155	0.0021187
Methyl acetate	1.427	0 to 58	1.34982	0.87098	3.5562
Methyl alcohol	1.259	-38 to 70	1.18557	1.66493	0.91113
Methyl benzoate	0.895	0 to 162	0.8633	0.7414	0.15896
Methyl bromide	1.684	-35 to 28	1.41521	3.31528	11.3809
Methyl cyanide	1.301	6 to 66	1.2118	1.7780	1.5322
Methyl ethyl ketone	1.315	0 to 76	1.18654	3.37043	-0.53365
Methyl formate	1.563	0 to 10	1.35824	10.538	-1.8085
Methyl iodide	1.273	5 to 39	1.1440	4.0465	-2.7393
Methyl propionate	1.304	0 to 74	1.3049	-1.3275	4.6943
Methyl sulfide	1.082	0 to 111	1.01705	1.57606	0.19072
Nitrobenzene	.....	144 to 164	0.8263	0.52249	0.13779
Olive oil	0.721	.....	0.68215	1.14053	-0.539
n-Pentane	1.656	-190 to 30	1.50697	3.435	0.975
iso-Pentane	1.680	0 to 27	1.46834	5.09626	0.6979
Petroleum, sp. gr. 0.8467	0.955	24 to 120	0.8994	1.396	.....
Petroleum ether	2.26	-190 to 0	1.46	1.60	.....
Phenol	1.090	36 to 157	0.834	0.10732	0.4446
Phosphorus tribromide	0.668	0 to 100	0.8472	0.43672	0.25276
Phosphorus trichloride	1.154	-36 to 75	1.12862	0.87288	1.79236
Phosphorus oxychloride	1.116	0 to 107	1.05431	1.12665	0.5299
Potassium chloride, 24.3%	0.353	16 to 25	0.2695	2.080	.....
Propionic acid	1.102	0 to 133	1.0396	1.5487	0.04301
n-Propyl alcohol	0.956	0 to 94	0.7743	4.9689	-1.4069
iso-Propyl alcohol	1.094	0 to 83	1.04345	0.44303	2.7274
n-Propyl chloride	1.447	0 to 42	1.3305	3.8313	-1.3859
iso-Propyl chloride	1.591	0 to 34	1.3696	5.5287	.....
n-Propyl ether	1.354	0 to 88	1.2132	3.9318	-1.3644
iso-Propyl ether	1.452	0 to 67	1.2872	4.2923	-0.58573
Propyl iodide	1.102	10 to 98	1.0276	1.8658	-0.0051
Silicon tetrachloride	1.430	-32 to 59	1.29412	2.18414	4.08442
Sodium acid sulfate, 21%	0.555	0 to 34	0.5364	4.75	.....
Sodium chloride, 20.6%	0.414	0 to 29	0.3640	1.237	.....
Sodium sulfate, 1.9%	0.235	0 to 40	0.0449	4.749	.....
24%	0.410	11 to 40	0.3599	1.258	.....
Stannic chloride	1.178	-19 to 113	1.1328	0.91171	0.75798
Sulfur chloride	0.968	12 to 111	0.9591	-0.03819	0.73186
Sulfuric acid, conc.	.....	0 to 30	0.5758	-0.864	.....
Sulfuric acid 10.9%	0.387	0 to 30	0.2835	2.580	.....
5.4%	0.311	0 to 30	0.1450	4.143	.....
1.4%	0.234	0 to 30	0.03336	5.025	.....
*2.3%, $t_0 = 100^\circ$	.....	110 to 140	0.729	2.8	.....

• Mercurio

- $a = 0.181690 \times 10^{-3}$
- $b = 0.00295 \times 10^{-6}$
- $C = 0.0115 \times 10^{-8}$

Nota: "Coeficiente a 20°C "
 $= a + bT + CT^2$
 Onde $T = 20$

Table 10-42 (Continued)
COEFFICIENTS OF CUBICAL EXPANSION FOR VARIOUS LIQUIDS
AND AQUEOUS SOLUTIONS

Liquid	Coef. at 20°C, $\times 10^3$	Range °C	$a \times 10^3$	$b \times 10^6$	$c \times 10^9$
*4.5%, to =110°	.....	110 to 140	0.648	4.2	.....
Thymol	.....	62 to 157	0.84369	0.26625	0.35997
Titanium tetrachloride	0.998	-22 to 134	0.94257	1.34579	0.0888
Toluene	1.099	0 to 100	1.028	1.779	.....
<i>o</i> -Toluidine	0.847	0 to 141	0.82136	0.6046	0.14696
Trimethyl carbinol	1.023	20 to 77	1.31261	-8.8155	3.61209
<i>n</i> -Valeric acid	1.004	8 to 144	0.97557	0.61852	0.30378
Water (see also below)		-13 to 0	-0.09417	1.449	-59.85
<i>o</i> -Xylene	0.973	16 to 131	0.91734	1.3245	0.19586
<i>m</i> -Xylene	1.009	0 to 141	0.96396	1.0251	0.32753
<i>p</i> -Xylene	1.011	19 to 131	0.97013	0.8714	0.5287

WATER

To find the cubical expansion of water, substitute in the following formulas:
 0° to 33° : $V_t = V_o(1 - 0.0004268t + 0.00000526t^2 - 0.0000007897t^3 + 0.00000001209t^4)$
 0° to 80° : $V_t = V_o(1 - 0.00053255t + 0.000005761532t^2 - 0.000000437217t^3 + 0.0000000164322t^4)$

Table 10-43
CUBICAL EXPANSION OF SOLIDS

The coefficient of cubical expansion is the increase in volume per unit volume per degree C. rise in temperature. For ordinary work the assumption may be made that the coefficient of cubical expansion is about three times the coefficient of linear expansion.

Substance	Temp. °C	Coef. $\times 10^7$	Substance	Temp. °C	Coef. $\times 10^7$
Antimony	0 to 100	316.7	Paraffin	20	5880
Beryl	0 to 100	10.5	Platinum	0 to 100	265
Bismuth	0 to 100	394.8	Porcelain	0 to 100	108.0
Copper	0 to 100	499.8	" , Berlin	20	81.4
Diamond	40	35.4	Potassium chloride	0 to 100	1094
Emerald	40	16.8	" nitrate	0 to 100	1967
Galena	0 to 100	558	" sulfate	20	1075.4
Glass, Corning 790	0 to 350	24	Quartz	0 to 100	384
" , Corning 774	0 to 350	96	Rock salt	50 to 60	1212.0
" , Corning 8800	0 to 350	183	Rubber	20	4870
" , Jena 59 III	20 to 100	156	Silver	0 to 100	583.1
" , soda lime tubing	0 to 300	276	Sodium	20	2138.4
Gold	0 to 100	441.1	Stearic acid	33.8 to 45.5	8100
Ice	-20 to -1	1125.0	Sulfur, native	13.2 to 50.3	2230
Iceland spar	50 to 60	144.7	Tin	0 to 100	688.9
Iron	0 to 100	355.0	Zinc	0 to 100	892.8
Lead	0 to 100	839.9			

4.1 Termômetros de dilatação

16

- Termômetros à dilatação de líquidos em recipiente de vidro transparente

LÍQUIDOS MAIS UTILIZADOS:

Melting or boiling		°C	°F	°K	°R
Melting-point-of-water	(H ₂ O)	0	32	273.15	491.67
Boiling-point-of-water	(H ₂ O)	100	212	373.15	671.67
Melting-point-of-ammonia	(NH ₃)	-77.7	-107.9	195.45	351.77
Boiling-point-of-ammonia	(NH ₃)	-33.6	-28.5	239.55	431.17
Melting-point-of-gold	(Au)	1063	1945	1336	2405
Melting-point-of-magnesium	(Mg)	651	1203.8	924.2	1663.5
Boiling-point-of-acetone	(C ₃ H ₆ O)	56.5	133.7	329.65	593.37
Boiling-point-of-propane	(C ₃ H ₈)	-42.1	-43.8	231.05	415.87
Boiling-point of-ethanol	(C ₂ H ₆ O)	78.4	173.1	351.55	632.77

4.1 Termômetros de dilatação

17

- Termômetros à dilatação de líquidos em recipiente de vidro transparente

LÍQUIDOS MAIS UTILIZADOS:

LÍQUIDO	PONTO DE SOLIDIFICAÇÃO [°C]	PONTO DE EBULIÇÃO [°C]	FAIXA DE USO [°C]
Mercúrio	-39	+357	-38 a 550
Álcool Etílico	-115	+78	-100 a 70
Tolueno	-92	+110	-80 a 100

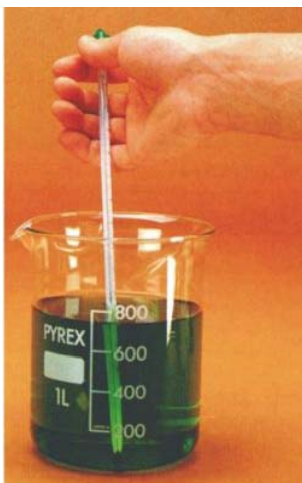
Termômetros de dilatação de líquidos

18

4.1 Termômetros de dilatação

- TERMÓMETROS DE VIDRIO:

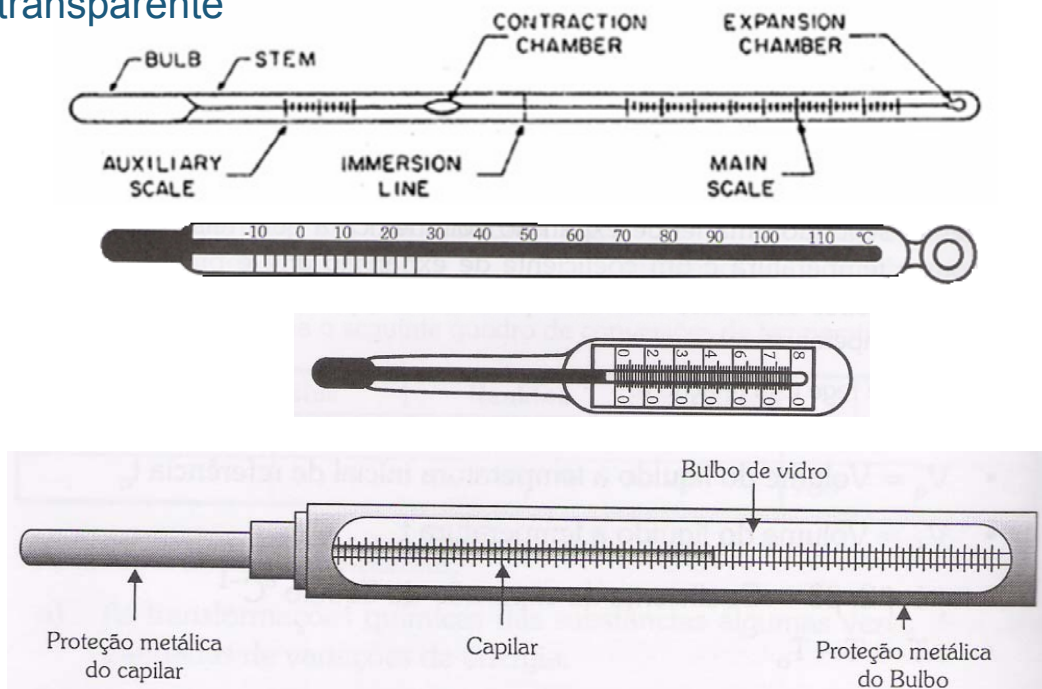
Indicam a temperatura como diferença entre o coeficiente de dilatação do vidro e do líquido empregado (Ex.: mercúrio).



Termômetros de dilatação de líquidos

19

- Termômetros de dilatação de líquidos em recipiente de vidro transparente



Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

3.1 Termômetros de dilatação de líquidos

20

Vantagens:

- Portabilidade
- Indepe de equipamen- to auxiliar
- Baixo custo
- Compatibilidade com a maioria de ambiente
- Ampla faixa : -40 a 250°C

Desvantagens:

- Impossibilidade de automatizar e leitura cont.
- Constante de tempo grande
- Dimensões inábeis e histereses (exceto tipo especiais)
- Quebra (contaminação Hg)

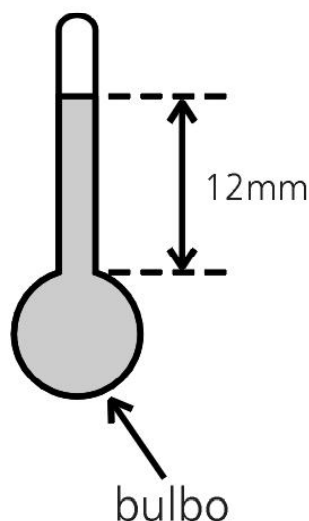
Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

4.1 Termômetros de dilatação de líquidos

21

•TERMÔMETROS DE BULBO:

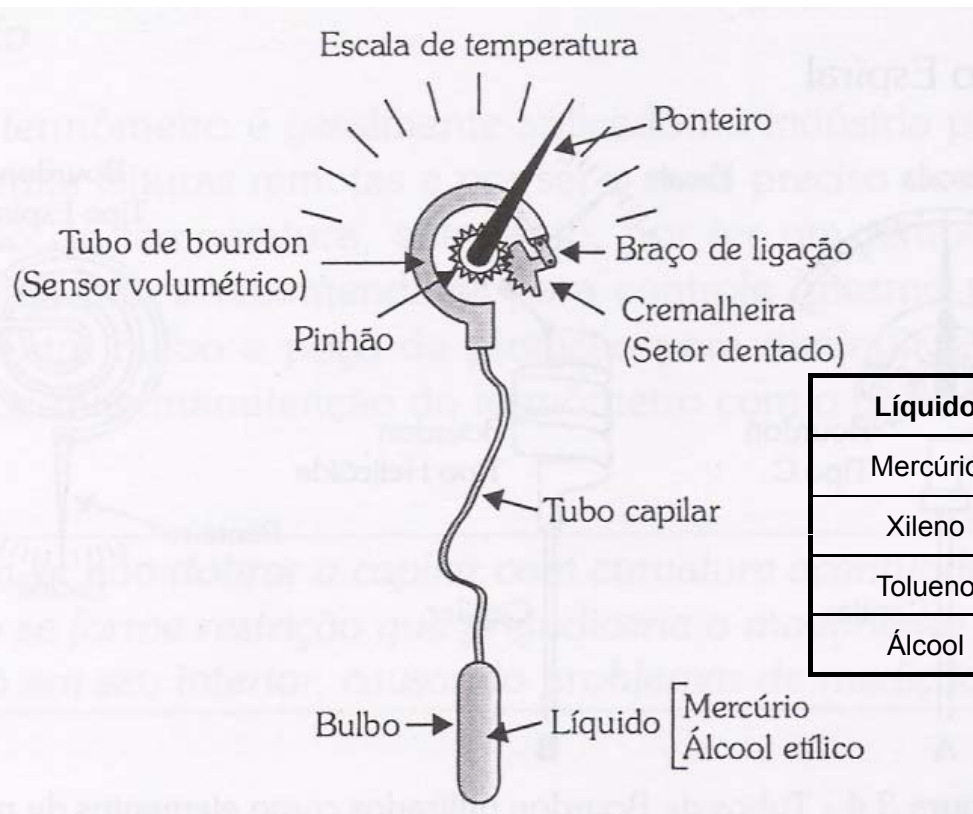
A variação de temperatura produz a expansão ou contração do fluido, o que deforma o recinto que o contêm.



Os termômetros de bulbo ou de vidro trabalham em cima de um princípio simples: **um fluido volátil muda seu volume conforme sua temperatura é alterada**. Os líquidos ocupam menos espaço quando estão frios e ocupam mais espaços quando estão quentes

Termômetros de dilatação de líquidos em recipiente metálico

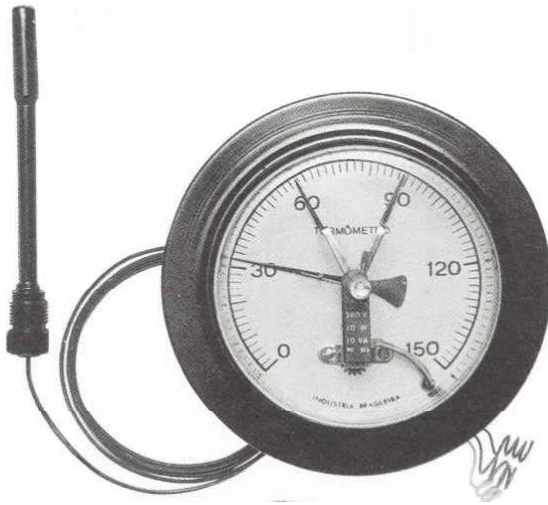
22



Líquido	Faixa de Utilização
Mercúrio	-35 a +550 °C
Xileno	-40 a +400 °C
Tolueno	-80 a +100 °C
Álcool	50 a 150 °C

4.1 Termômetros de dilatação

23



Quando ha mudança de temperatura, o fluido se expande ou contrai, o que faz com que o tubo de Bourdon mover-se, movendo assim a posição da agulha sobre a escala

Líquido	Faixa de Utilização
Mercúrio	-35 a +550
Xileno	-40 a +400
Tolueno	-80 a +100
Álcool	50 a 150

4.1 Termômetros de dilatação

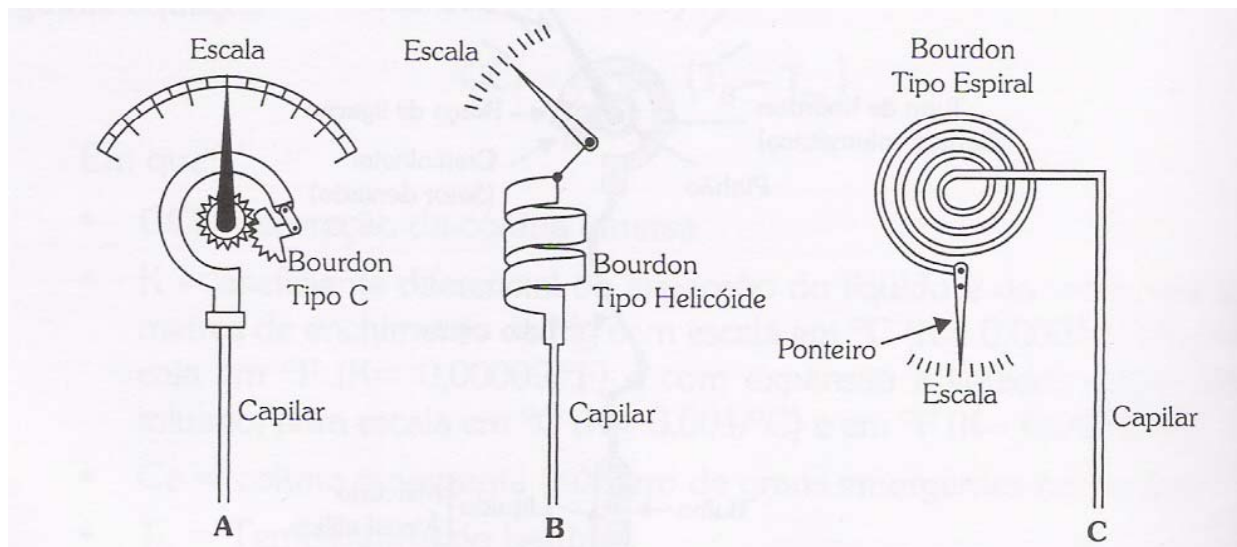
24

Termômetro de Dilatação

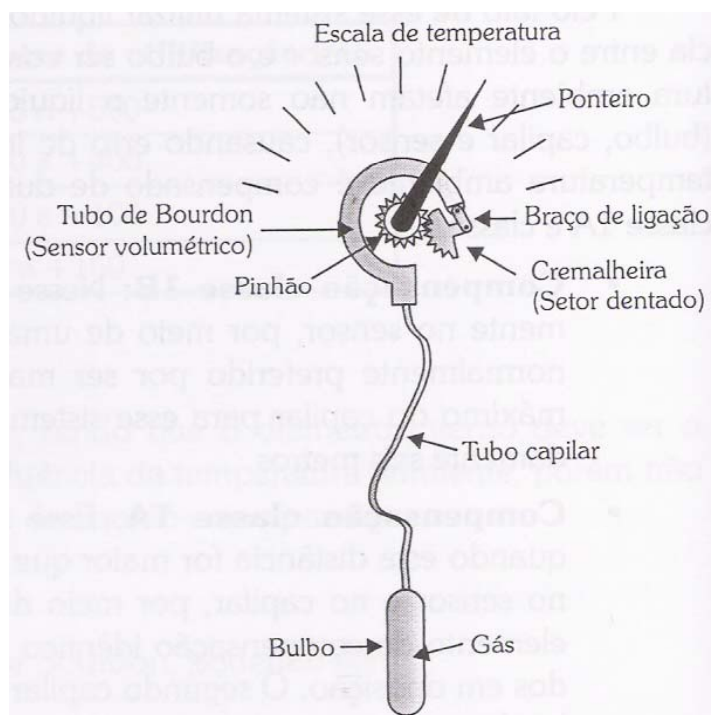


Elementos de Medição:

A. Tipo C B. Tipo Helicoidal C. Tipo Espiral



Termômetros à pressão de gás



Gases aplicáveis:

Gás	Temperatura Crítica
Hélio (He)	-267,8 °C
Hidrogênio (H ₂)	-239,9 °C
Nitrogênio (N ₂)	-147,1 °C
Dióxido de Carbono (CO ₂)	-31,1 °C

Lei de Gay-Lussac:

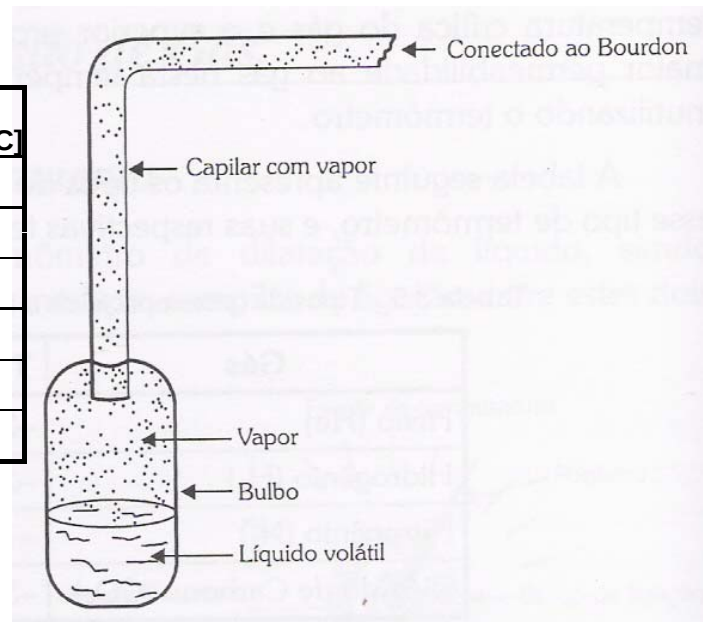
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \dots = \frac{P_n}{T_n} = Cte$$

Termômetro a pressão de vapor

27

Líquidos mais utilizados:

Líquido	Ponto de fusão [°C]	Ponto de ebulição [°C]
Cloreto de Metila	-139	-24
Butano	-135	-0,5
Éter Etílico	-119	34
Tolueno	-95	110
Dióxido de enxofre	-73	-10
Propano	-190	-42

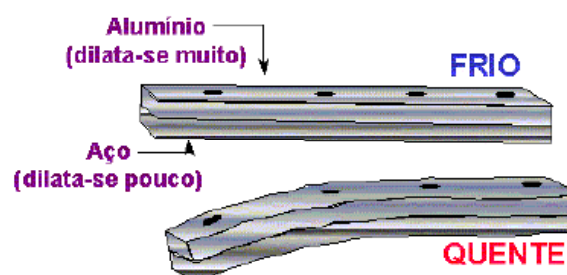


Termômetros de Dilatação

28

4.2 TERMÓMETROS BIMETÁLICOS:

O princípio de um termômetro bimetalico conta com o fato de que **metais diferentes dilatam em proporções diferentes à medida que esquentam**. Ao unir dois metais diferentes, você pode fazer um simples controlador elétrico, que pode ter boa resistência em temperaturas altas. Este tipo de dispositivo geralmente é encontrado em fornos.



4.2 TERMÔMETROS BIMETÁLICOS:

A seguinte fórmula relaciona expansão linear à mudança de temperatura

$$l = l_0(1 + \alpha\Delta T)$$

l = comprimento do material após o aquecimento

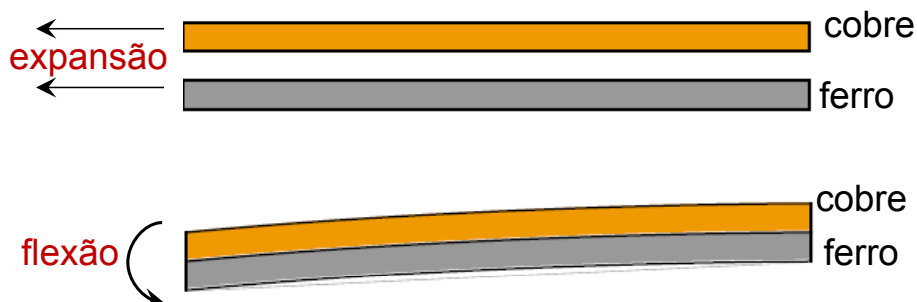
l_0 = comprimento original do material

α = Coeficiente de expansão linear

ΔT = Variação de temperatura

Usos típicos:

sistemas de climatização,
interruptores de proteção,
etc.

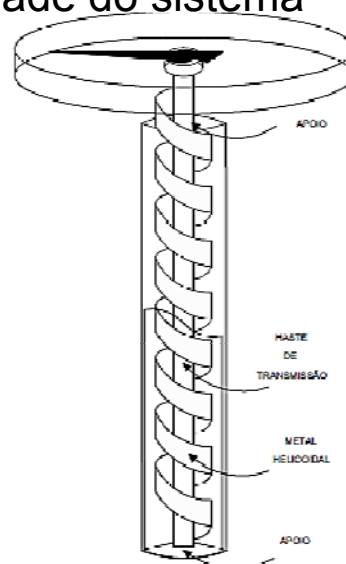


Termômetros de Dilatação

4.2 TERMÔMETROS BIMETÁLICOS:

Na prática a lâmina bimetalica é enrolada em forma de espiral ou hélice, o que aumenta mais ainda a sensibilidade do sistema conforme a figura.

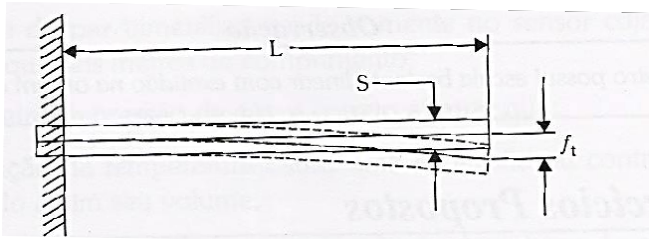
O termômetro mais usado é o de lâmina bimetalica helicoidal. E consiste de um tubo condutor de calor, no qual é fixada num eixo que por sua vez recebe um ponteiro que se desloca sobre uma escala. Normalmente o eixo gira de um ângulo de 270° para uma variação de temperatura que abrange toda a faixa do termômetro



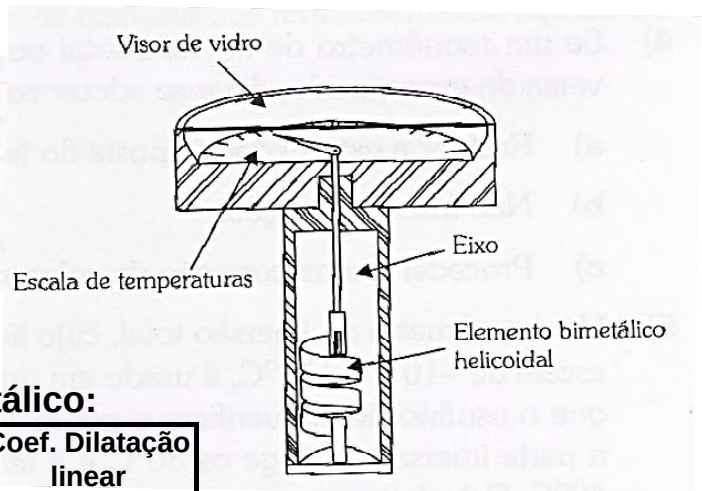
Termômetro à dilatação de sólidos (Termômetro Bimetálico)

31

Funcionam baseado no princípio de flexão térmica



Características construtivas



Lâminas componentes do par bimetálico:

Material do par bimetálico	Faixa de Medição	Coef. Dilatação linear $\Delta[10^{-6} 1/K]$
Invar (64%Fe + 36%Ni)	-50 a 800	0,7
Latão		19

Recomendações na instalação de Bimétricos

32



- Utilizar sempre poço protetor metálico para evitar corrosão, dar proteção mecânica e permitir manutenção com o processo em operação.
- A baixa temperatura a caixa do termômetro bimetálico deve ser hermeticamente selada para evitar que a penetração da umidade venha a formar gelo, prejudicando os componentes internos do instrumento.
- Para evitar erros devido à temp. ambiente, o bimetálico deve estar completamente imerso no fluido.
- A velocidade do fluido deve ser bastante alta a fim de assegurar uma rápida transferência de calor.

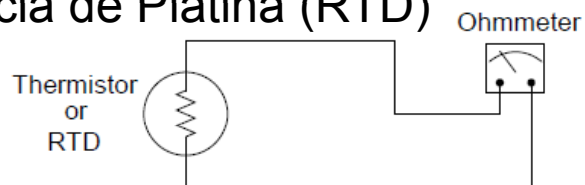
4.3 TERMÔMETROS DE CONTATO ELETRICOS

33

Todo condutor elétrico apresenta uma resistência que depende de sua temperatura, por tanto, se pode utilizar a resistência elétrica como variável termométrica.

Há dois tipos:

- **Termômetro de resistência metálica**
 - Detectores de Resistência de Platina (RTD)
 - Termistors
- **Termopares**



a) Termômetros sensíveis à resistência (RTD):

34

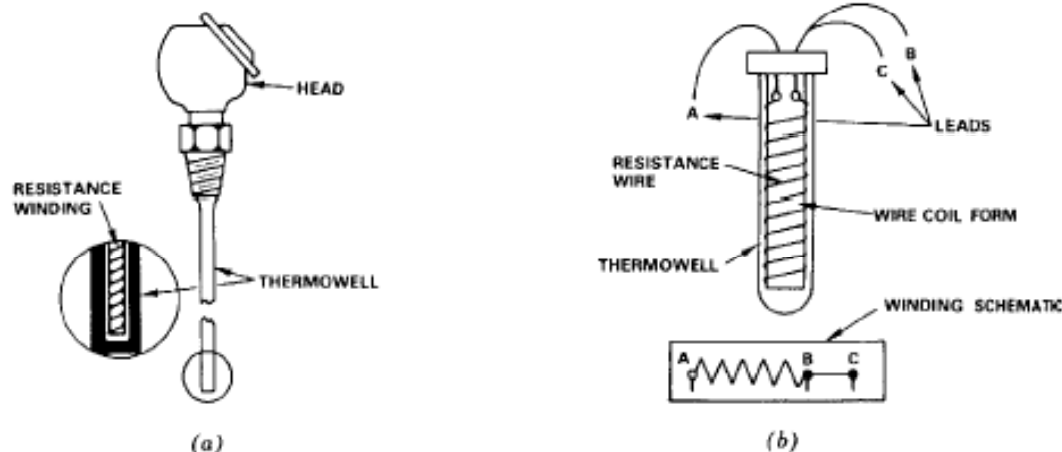
- Como funciona:
 - Utiliza o fato de que a resistência de alguns metais sofre variação com a temperatura.
- Material de construção:
 - **PLATINA** – faixa: - 200 à 600°C (excepc. 1200°C) - Pto de Fusão 1774°C.
 - **NÍQUEL** – faixa: - 200 à 300°C - Ponto de Fusão 1455°C.
 - **COBRE** – faixa: - 200 à 120°C - Ponto de Fusão 1023°C.
- Faixa de temperatura :
 - -200°C a 600°C.

a) Termômetros sensíveis à resistência (RTD):

35

• TERMÔMETROS DE RESISTÊNCIA METÁLICA (RTD):

O material deve ser resistente à corrosão e a ambientes hostis, com comportamento lineal, alta sensibilidade, fácil de fabricar e estável: Pt e Ni.



Schematic of a resistance thermometer device. (a) Assembly. (b) Components. (Courtesy of the Instrument Society of America.)

Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

a) Termômetros sensíveis à resistência (RTD):

36

• TERMÔMETROS DE RESISTÊNCIA METÁLICA (RTD):

Se baseiam em que a resistência elétrica de metais puros aumenta com a temperatura. Em alguns de forma quase lineal:

$$R_{(T)} = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Em que:

- $R(T)$ – Resistência elétrica à temperatura T °C.
- R_0 - Resistência elétrica à temperatura 0 °C.
- α - Coeficiente de variação da resistência elétrica em função da temperatura medida em °C⁻¹.
- $\Delta T = T - T_0$.

Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

a) Termômetros sensíveis à resistência (RTD):

37

• TERMÔMETROS DE RESISTÊNCIA METÁLICA (RTD):

$$R_{(T)} = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

α Para alguns metais:

- Niquel = 0.00672 /°C
- Tungstênio = 0.0045 /°C
- Prata = 0.0041 /°C
- Ouro = 0.0040 /°C
- Cobre = 0.0038 /°C
- Platina = 0.00392 /°C (valor americano)
- **Platina = 0.00385 /°C** (valor europeu)

a) Termômetros sensíveis à resistência (RTD):

38

• Exemplo

Qual é a resistência de uma resistência da platina em 250°C, se a resistência a 20 °C é de 1050 Ω ?

$$R_{(T)} = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$\text{Resistência a } 250^\circ\text{C} = 1050 (1 + 0,00385 [250 - 20])$$

$$= 1050(1 + 0,8855)$$

$$= 1979.775 \Omega$$

a) Termômetros sensíveis à resistência (RTD):

39

• TERMÔMETROS DE RESISTÊNCIA METÁLICA (RTD):

Os RTD são especificados pelo valor da resistência a 0 °C e pelo material de construção :

PLATINA (Pt)

- Pt 100 (100Ω @ 0 °C) 0,4 ohm/°C.
- Pt 1000 (1000Ω @ 0 °C) 4 ohm/°C.

Niquel (Ni) Ni 120 (120Ω @ 0 °C)

Cobre (Cu) Cu10 (10Ω @ 0 °C)

A platina é o melhor material que por ser fácil de obter de forma pura, ser quimicamente inerte, ser um material dúctil, com um ponto de fusão alto e por sua alta linearidade.

a) Termômetros sensíveis à resistência (RTD):

40

• TERMÔMETROS DE RESISTENCIA METÁLICA (RTD):

A exatidão dos termômetros de resistência, quando corretamente instalados, é grande, pode atingir a $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$.

Normalmente as sondas utilizadas industrialmente apresentam uma precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

a) Termômetros sensíveis à resistência (RTD):

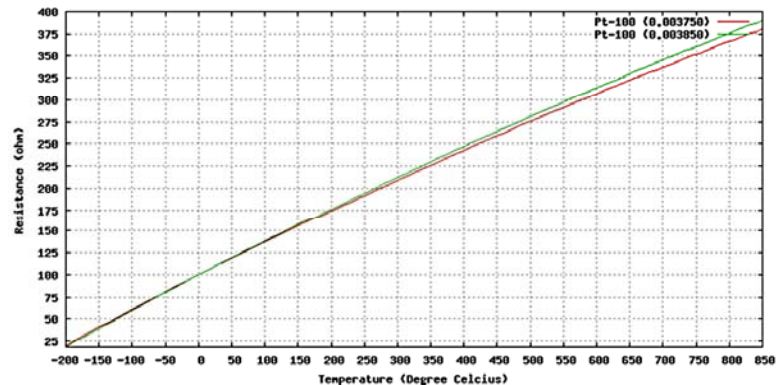
41

• TERMÔMETROS DE RESISTÊNCIA METÁLICA (RTD):

PT100



Curvas características do PT100



A norma DIN EN 60751 define as resistências elétricas e desvios permitidos em função da temperatura. O valor nominal de um sensor PT100 é 100 a 0 °C.

Coef. angular , $\alpha = 0,00385$
(Pt100/Pt1000)

a) Termômetros sensíveis à resistência (RTD):

42

Tabela – Resistência vs Temperatura ($\alpha = 0,00385$)

0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	103.90	0
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	107.79	10
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	111.67	20
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15	115.54	30
40	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	119.40	40
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86	123.24	50
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	127.08	60
70	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	130.90	70
80	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	134.71	80
90	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	138.51	90
100	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	142.29	100
110	142.29	142.67	143.05	143.43	143.80	144.18	144.56	144.94	145.31	145.69	146.07	110
120	146.07	146.44	146.82	147.20	147.57	147.95	148.33	148.70	149.08	149.46	149.83	120
130	149.83	150.21	150.58	150.96	151.33	151.71	152.08	152.46	152.83	153.21	153.58	130
140	153.58	153.96	154.33	154.71	155.08	155.46	155.83	156.20	156.58	156.95	157.33	140

Veja que termômetros de resistência de platina o valor de 100, Ω a 0°C, e de 138,50 Ω a 100°C

Para cada variação de °C a resistência incrementa 0,385 ohms

Vantagens e Desvantagens do RTD :

43

Vantagens:

- Inerentemente mais linear
- Estáveis por um longo período
- Muito precisos
- Fácil de calibrar

Desvantagens:

- Caro
- Requer de fonte de corrente
- Pequena mudança na resistência
- Menos robusto do que termopares.
- Menor faixa de leitura em relação aos termopares
- Auto-aquecimento

$$P = I^2 R$$

b) Termistores:

44

• TERMISTORES:

Se trata de elementos semicondutores ou diferentes compostos químicos (p. ex. óxidos metálicos a base de manganésio, níquel, ferro e cobalto) cuja resistência varia sensivelmente com a temperatura.

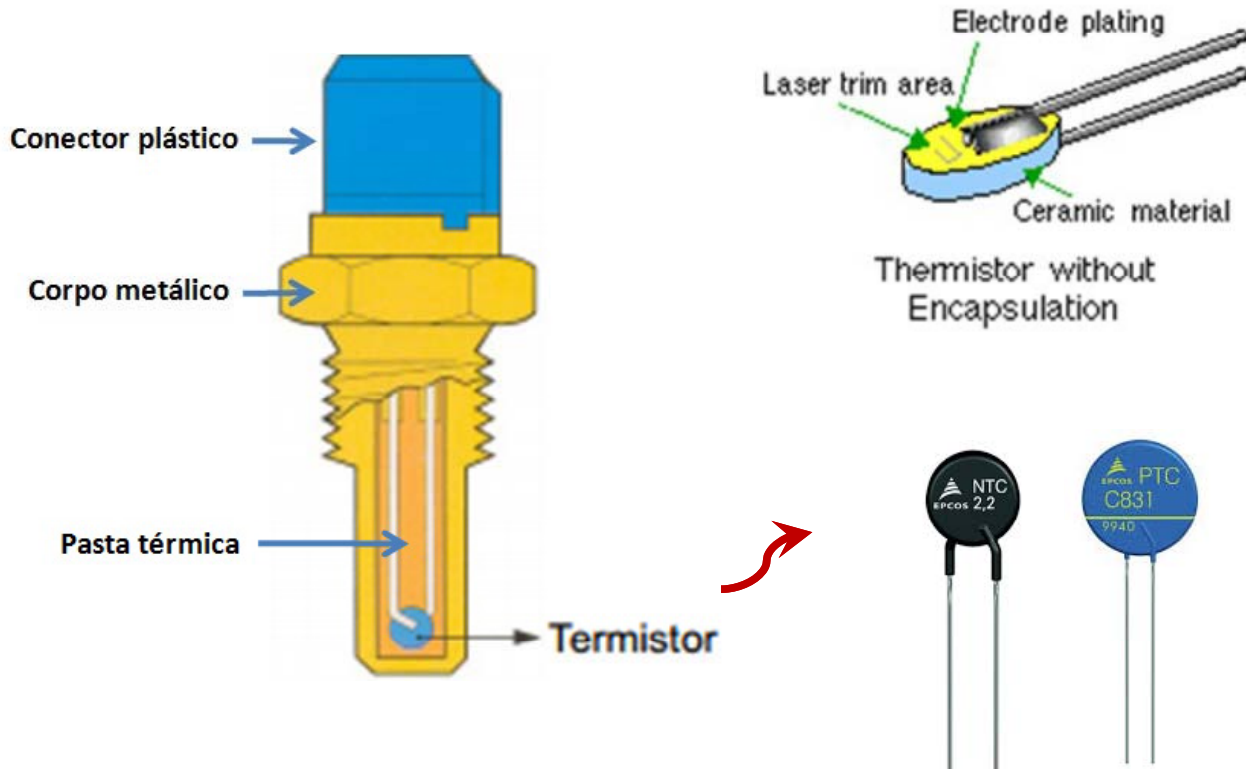
Se denominam termistors:

PTC (positive temperature coefficient) aqueles que aumentam sua resistência com a temperatura

NTC (negative temperature coefficient) os que diminuem a resistência com a temperatura. Os mais conhecidos são os NTC.

b) Termistores:

45

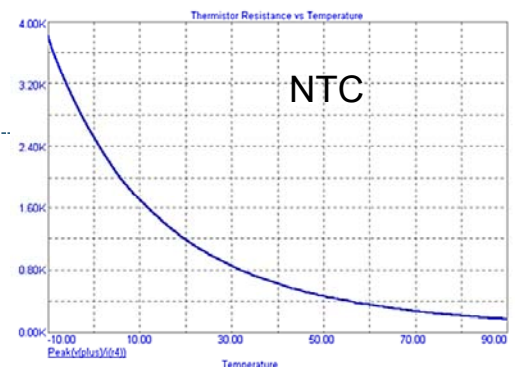


Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

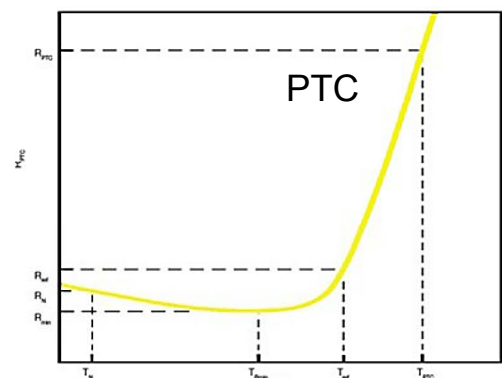
b) Termistores:

TERMISTORES: NTC / PTC

- Semicondutores ou cerâmicos.
- Alta sensibilidade: 100 ohms/°C
- Não lineal: há que linearizar em torno ao ponto de trabalho.
- Faixa de temperatura pequeno (-50 °C a + 150 °C). Útil para temperatura ambiente.
- Muito baratos e pequenos.
- Alta precisão.



Os mais conhecidos são os NTC
(NTC: coef. angular negativo)



1 R/T Characteristics A typical R/T curve of a PTC thermistor

Mais utilizado para sobrecarga de corrente
do que medição de temperatura
(PTC: coef. angular positivo)

Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

b) Termistores:

47

- Equação de Steinhart-Hart

$$\frac{1}{T} = a + b \ln(R) + c \ln^3(R)$$

- a, b e c : parâmetros da eq. Steinhart-Hart, e devem ser especificados para cada dispositivo.
- T : temperatura em Kelvin.
- R : resistência em Ohms.

O erro na equação de Steinhart-Hart é geralmente inferior a 0,02 ° C, na medida de temperatura.

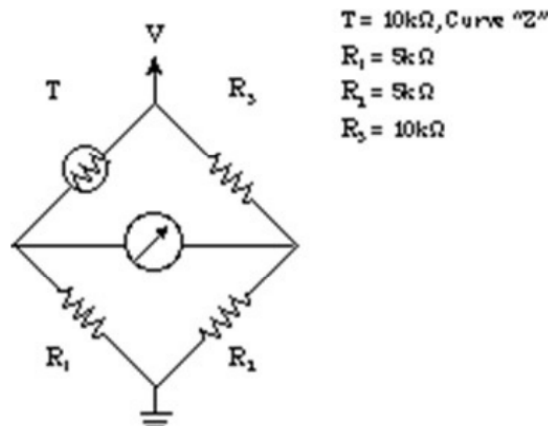
Termistores NTC pode também ser caracterizado com a equação do parâmetro B, que é essencialmente a equação Hart Steinhart com $c = 0$

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \left(\frac{R}{R_0} \right)$$

Especificações gerais dos NTC

48

- Usualmente especificado pela sua resistência a temperatura ambiente por exemplo um termistor NTC T25 tem uma resistência de 3,0KΩ, 5,0KΩ , 10,0 KΩ a 25°C
- precisão é de muito boa à média
- Tempo de resposta é de rápida a moderada
- Tipicamente usados para detectar em pequena faixa de temperatura



Vantagens e Desvantagens dos Termistores

49

Vantagens:

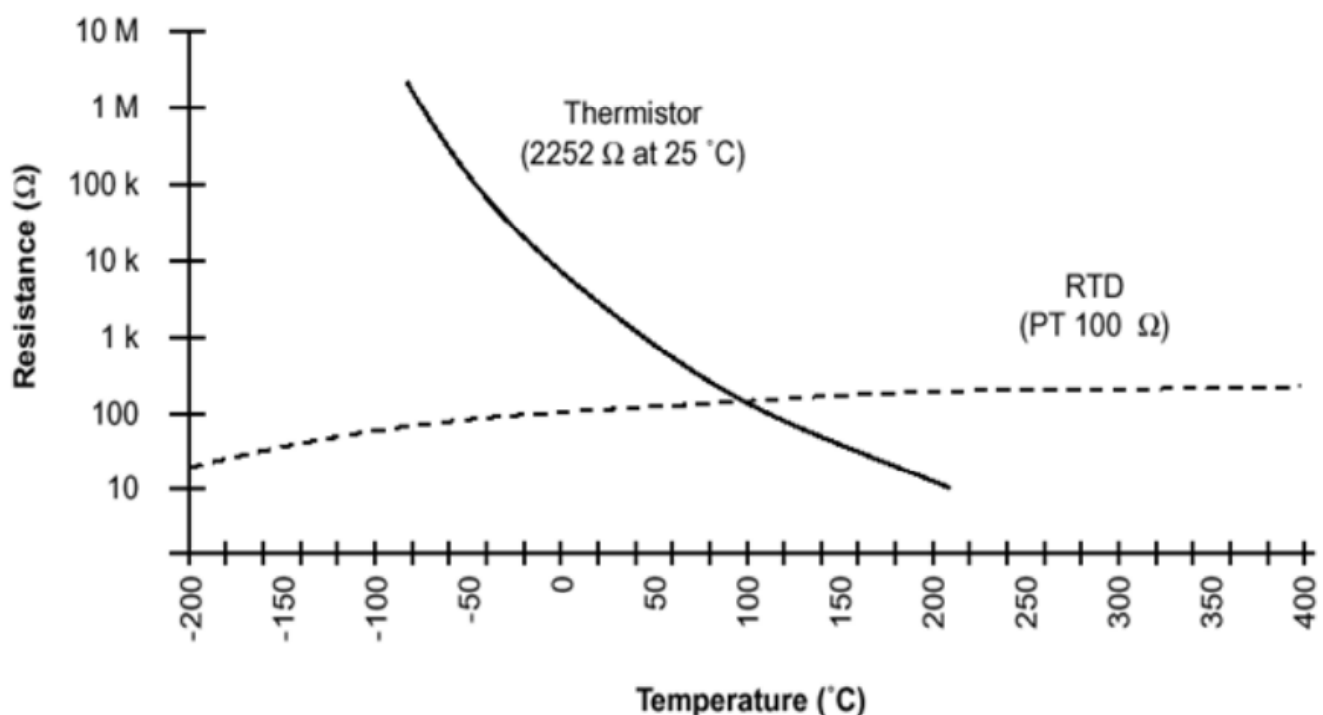
- Muito sensível (tem maior mudança saída a partir da temperatura de entrada)
- Resposta rápida
- Mais preciso que o RTD e termopar, em medição de temperaturas baixas

Desvantagens:

- A saída é uma função não linear
- Intervalo de temperatura limitada.
- Requer uma fonte de corrente
- Auto aquecimento
- frágil

Comparação de Termistor vs RTD

50



Comparação de Termistor vs RTD

51

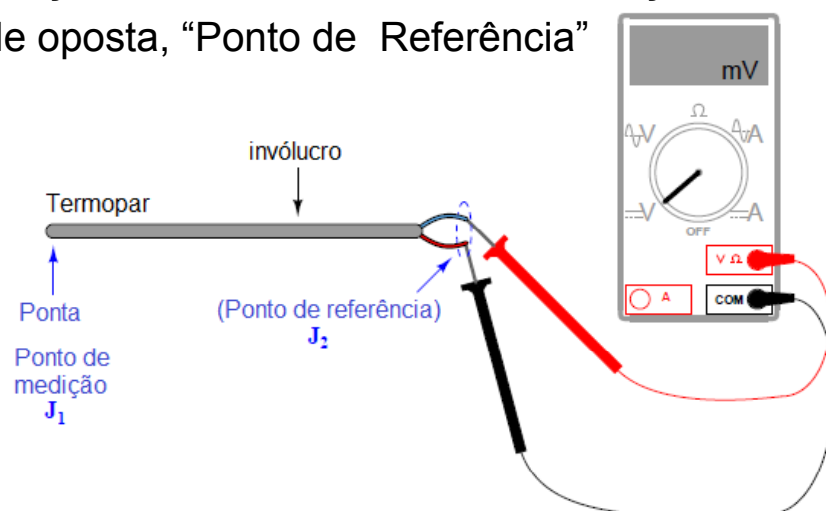
- Em Sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), onde a faixa temperatura de medição é relativamente estreita, a não-linearidade dos termistores não é uma preocupação séria e sua imunidade em relação à resistência do fio é uma vantagem decisiva sobre RTDs.
- Em aplicações industriais de medição de temperatura, onde a faixa de temperatura geralmente é muito mais ampla, a não-linearidade de termistor é um problema significativo, por isso recomendasse lidar com o de menor resistência do fio $\Rightarrow$ RTD

c) Termopares:

52

Funcionamento:

- Quando dois metais diferentes são unidos por uma junção, a diferença de temperatura entre o ponto da união e a outra extremidade dos condutores faz surgir uma tensão decorrente da força eletro-motriz (FEM)
- – O ponto de junção denomina-se “Ponto de Medição”
- – A extremidade oposta, “Ponto de Referência”



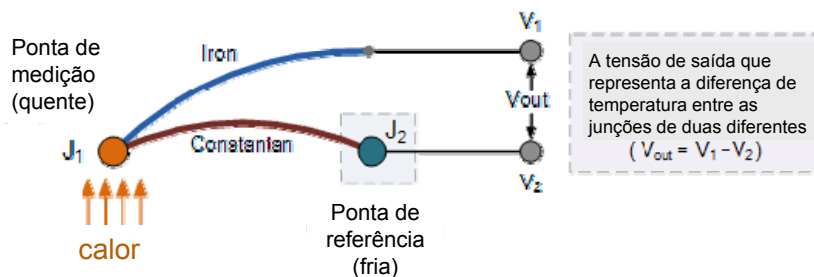
$$V_{\text{medido}} = V_{J_1} - V_{J_2}$$

c) Termopares:

53

Os termopares são sensores de temperatura que se baseiam num efeito termoelétrico, denominado o **efeito Seebeck**.

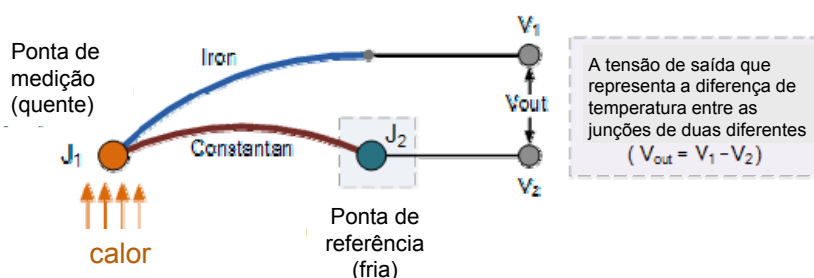
Quando dois metais diferentes se colocam em contato migram elétrons de um metal ao outro até que um campo elétrico equilibre o gradiente de concentração na união, provocando a aparição de um voltagem (**potencial de contato** ou **potencial termoelétrico Seebeck**) aproximadamente proporcional á temperatura da união.



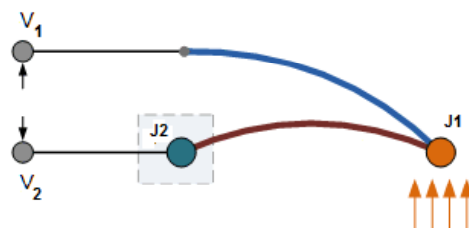
c) Termopares:

54

- A voltagem é proporcional à diferença de temperaturas.
- Sinal de saída muito baixa: microvolts por grau.
- Suportam altas temperaturas (Ex.: caldeiras)



c) Termopares:



Montagem de um termopar:



Tipos de termopares: identificados por um código ANSI que consiste em uma letra do alfabeto.

Type	Positive wire	Negative wire	Temperature range
T	copper (blue)	constantan (red)	-300 to 700 °F
J	iron (white)	constantan (red)	32 to 1400 °F
E	chromel (violet)	constantan (red)	32 to 1600 °F
K	chromel (yellow)	alumel (red)	32 to 2300 °F
S	Pt90% - Rh10% (black)	Platinum (red)	32 to 2700 °F
B	Pt70% - Rh30% (black)	Pt94% - Rh6% (red)	32 to 3380 °F

Tipo	Liga	Máx. temp. (°C)	Coef. temp. (μV/°C)	Saída @ 100°C (mV)
J	Fe/Constantan	700 (750)	51,45	5,268
K	Chromel/Alumel	1.100 (1.370)	42	4,095
S	Platina Pt/Rh (90/10)	1.550 (1.750)	8	0,645
W	W/Rh (26/74) W/Rh (5/95)	2.500	7,86	1

Notas:

Temperaturas entre parentesis são as que os sensores podem suportar por pouco tempo.

Constantan: 55%Cu/45% Ni

Chromel: 90%Ni/10%Cr

Alumel: 96%Ni/2%Mn/2%Al.

Tipos básicos: T, J, E, K, N

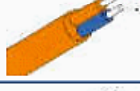
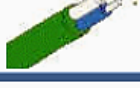
Tipos nobres (Platina /Ródio) : S,R,B

Especiais (Platina / Ródio-Platina)

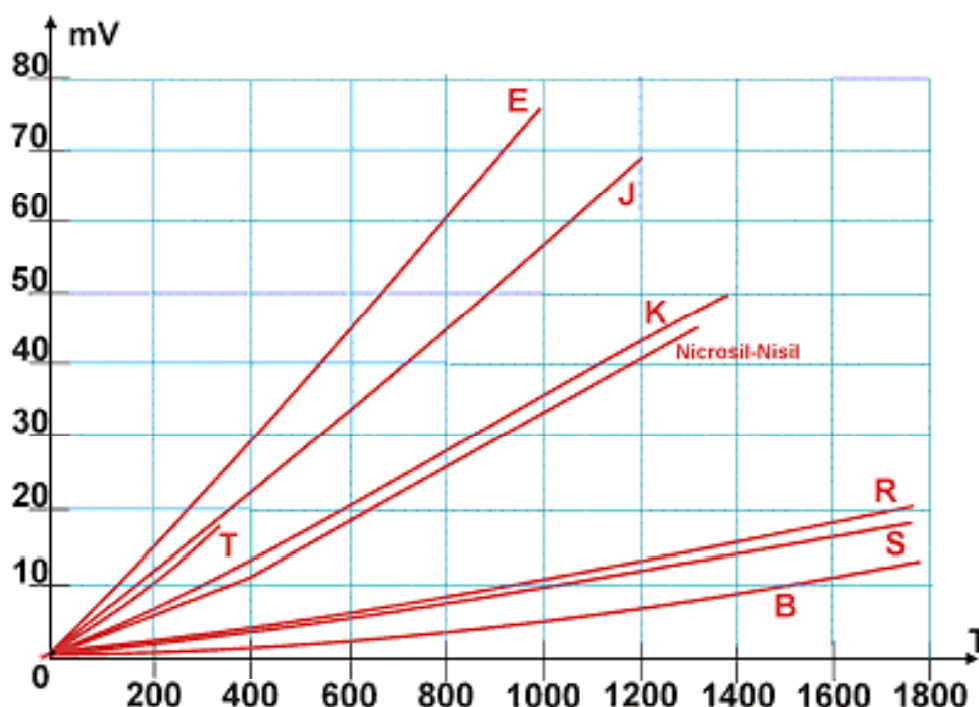
c) Termopares:

Existem vários tipos de termopares identificados por um código ANSI que consiste em uma letra do alfabeto.

Thermocouple Colour Codes

Thermocouple Sensor Colour Codes <i>Extension and Compensating Leads</i>			
Code Type	Conductors (+/-)	Sensitivity	British BS 1843:1952
E	Nickel Chromium / Constantan	-200 to 900°C	
J	Iron / Constantan	0 to 750°C	
K	Nickel Chromium / Nickel Aluminium	-200 to 1250°C	
N	Nicrosil / Nisil	0 to 1250°C	
T	Copper / Constantan	-200 to 350°C	
U	Copper / Copper Nickel Compensating for "S" and "R"	0 to 1450°C	

c) Termopares:



Curvas características dos principais termopares

c) Termopares:

A escolha de um termopar para um determinado serviço deve ser feita considerando todas as possíveis variáveis e normas exigidas pelo processo.

Portanto, alguns dados para orientação na escolha correta dos mesmos são fornecidos pelo fabricante.

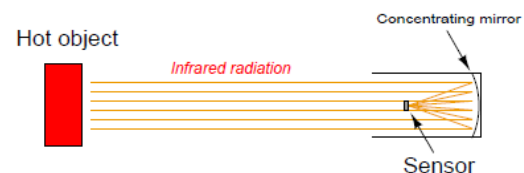
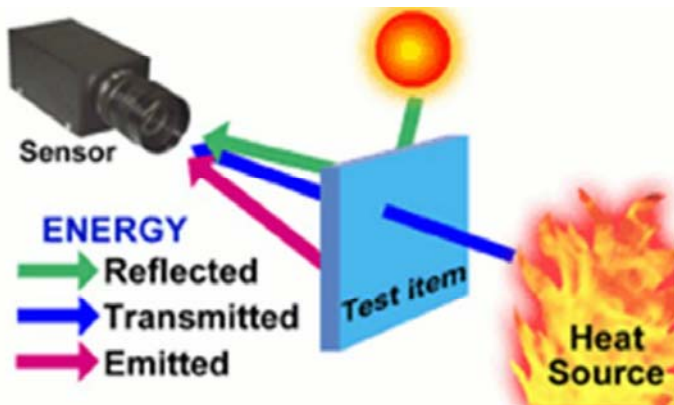
A seguinte tabela relaciona os tipos de termopares e a faixa de temperatura usual, com as vantagens e restrições:

TABELA - Tipos e termopares e faixa de temperatura usual - vantagens e restrições.

Tipo	Elemento Positivo	Elemento Negativo	Faixa de temp. usual	Vantagens	Restrições
T	Cobre	Constantan	- 184 a 370°C	1) Resiste a atmosfera corrosiva. 2) Aplicável em atmosfera redutora ou oxidante abaixo de 310°C. 3) Sua estabilidade o torna útil em temperaturas abaixo de 0°C.	1) Oxidação do cobre acima de 310°C.
J	Ferro	Constantan	0 a 760°C	1) Baixo Custo. 2) Indicado para serviços contínuos até 760°C em atmosfera neutra ou redutora.	1) Limite máximo de utilização em atmosfera oxidante de 760°C devido à rápida oxidação do ferro. 2) Utilizar tubo de proteção acima de 480°C.
E	Chromel	Constantan	0 a 870°C	1) Alta potência termoelétrica. 2) Os elementos são altamente resistentes à corrosão, permitindo o uso em atmosfera oxidante.	1) Baixa estabilidade em atmosfera redutora.
K	Chromel	Alumel	0 a 1260°C	1) Indicado para atmosfera oxidante. 2) Para faixa de temperatura mais elevada fornece rigidez mecânica melhor do que os tipos S ou R e vida mais longa do que o tipo J.	1) Vulnerável em atmosferas redutoras, sulfurosas e gases como SO ₂ e H ₂ S, requerendo substancial proteção quando utilizado nestas condições.
S	Platina 10% Rhodio	Platina	0 a 1480°C	1) Indicado para atmosferas oxidantes. 2) Apresenta boa precisão a altas temperaturas.	1) Vulnerável à contaminação em atmosferas que não sejam oxidante. 2) Para altas temperaturas, utilizar isoladores e tubos de proteção de alta alumina.
R	Platina 13% Rhodio	Platina			
B	Platina 30% Rhodio	Platina 6% Rhodio	870 a 1705°C	1) Melhor estabilidade do que os tipos S ou R. 2) Melhor resistência mecânica. 3) Mais adequado para altas temperaturas do que os tipos S ou R. 4) Não necessita de compensação de junta de referência, se a temperatura de seus terminais não exceder 50°C.	1) Vulnerável a contaminação em atmosferas que não sejam oxidantes. 2) Utilizar isoladores e tubos de proteção de alta alumina.

4.4 Métodos sem contato (Espectrômetro)

61



Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

4.4 Métodos sem contato (Espectrômetro)

62

- Sensores de temperatura de radiação podem ser utilizados como dispositivos portáteis de medição da temperatura local ou para fornecer um sinal contínuo.
- São amplamente usados nas indústrias onde as temperaturas são extremamente altas e/ou medições por contato não são viáveis.
(Ex: prensas, moinhos, tanque refratário, moldes térmicos, máquinas de garrafas, etc.)

Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

4.4 Métodos sem contato (Espectrômetro)

63

Mais especificamente, os dispositivos baseados na radiação dos corpos são os medidores a escolher quando o objeto cuja temperatura se pretende medir está sob as seguintes condições:

- Move-se, roda, vibra
- Está sob o efeito de campos magnéticos fortes (ex. aquecimento por indução)
- Sofre mudanças de temperaturas muito rápidas (ex. fundição, incineradora)
- Está localizado em posição inacessível (dentro de um recipiente)
- Requer medidas de temperatura ao longo da sua superfície

64

- Está a temperaturas demasiado elevadas para um termómetro de contato, i.e., superiores a 1400°C (p.ex. está dentro de um forno ou de uma fundição)
- Está fisicamente inacessível para um termómetro de contato,
- Pode danificar-se ou contaminar-se por contato com um medidor (ex. indústria vidreira, farmacêutica, química, alimentar,
- Tem uma distribuição superficial de temperaturas muito variada,
- É feito de um material com baixa capacidade calorífica ou condutividade térmica.

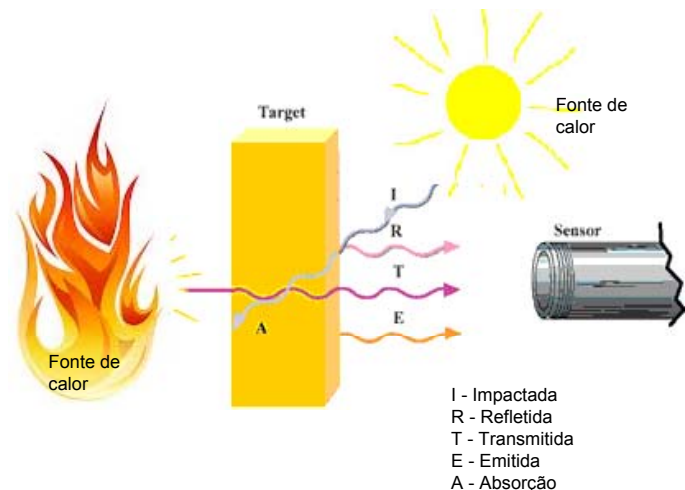
4.4 Métodos sem contato (Espectrômetro)

65

- Medem a temperatura a partir da radiação térmica que emitem os corpos e baseiam –se na **lei de Stefan-Boltzmann**:

“Todas as substâncias a qualquer temperatura acima do zero absoluto radiam energia como resultado da agitação atômica associada com sua temperatura.”

A energia emitida pelo corpo aumenta proporcionalmente com a quarta potencia da temperatura absoluta do corpo.”

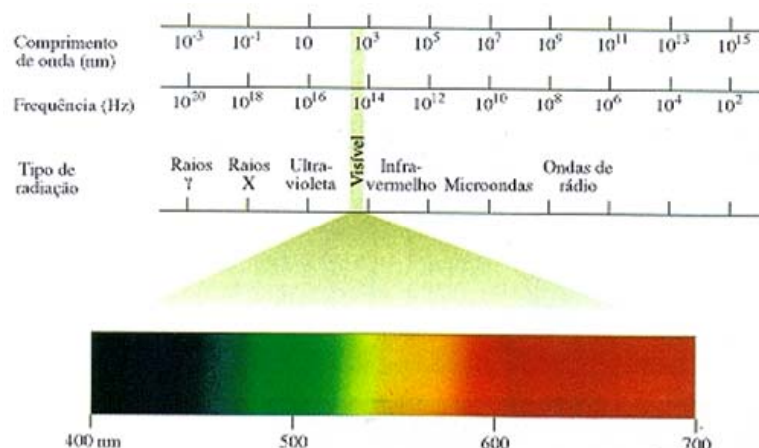


Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

4.4 Métodos sem contato (Espectrômetro)

66

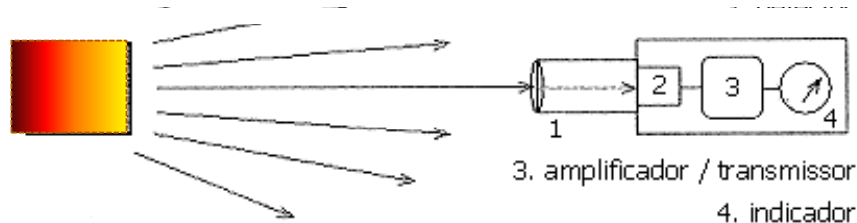
- Princípio de Funcionamento



Os vários tipos de energia radiada podem ser caracterizados pela frequência (F) ou comprimento de onda (λ). Assim, a zona do visível abrange comprimentos de onda compreendidos entre 400 nm e 700 nm, e os infravermelhos (IV) entre 700nm e 20 mícrons. Na prática, o pirômetro de IV comum usa a banda entre 5 e 20 mícrons.

Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

- Quanto mais elevada for a temperatura de um corpo maior é a radiação electromagnética (EM).
- **Transdutores eletromagnéticas de radiação** - convertem a energia em forma de radiação, EM, em uma corrente elétrica ou potencial, ou modificam uma corrente elétrica ou potencial.



A superfície ideal para efetuar medições de temperatura é a do corpo negro, i.e., um objeto com $\varepsilon = 1$ e $R = T = 0$. Na prática, contudo, a maioria dos corpos são corpos cinzentos (têm a mesma emissividade em todos os comprimentos de onda) ou corpos não-cinzentos (a emissividade varia com o comprimento de onda/temperatura):

67

Energia emitida por um corpo negro Lei de Stefan-Boltzman

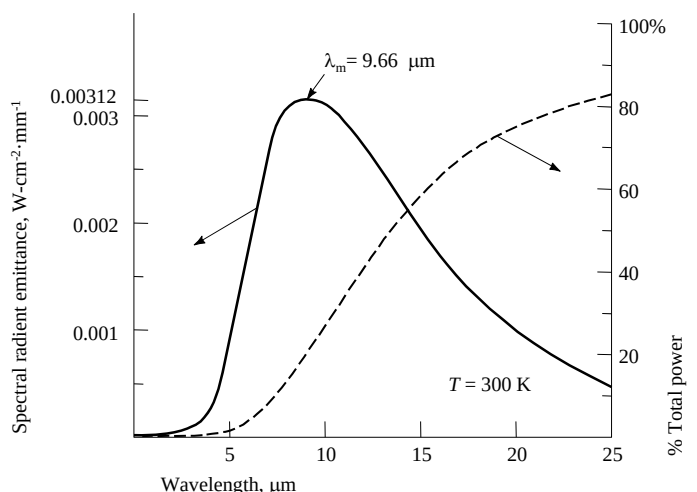
$$W_{\lambda} = \frac{\varepsilon C_1}{\lambda^5 \left(e^{C_2/\lambda T} - 1 \right)}$$

Energia radiante total:

$$W_t = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_{\lambda} d\lambda = \varepsilon \sigma T^4$$

Unidade : $W/cm^2 \cdot \mu m$

$$\sigma = \text{Cte de Stefan} = 5.67 \times 10^{-12} (W / cm^2) K^4$$



80% da energia total de radiação encontra-se na faixa de comprimento de onda 4 a 25 μm

4.4 Métodos sem contato (Espectrômetro)

69

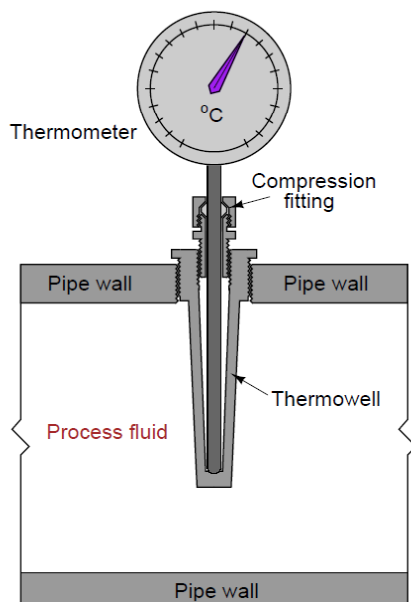
Também conhecido como:

- pirômetros óticos,
- pirômetros de radiação,
- pirômetros de radiação total,
- termômetros automáticos infravermelhos,
- termômetros de ouvido,
- termômetros de radiação contínua,
- scanners térmicos,
- termômetros de fibra óptica,
- etc.

5. ACESSÓRIOS DE SENSORES DE TEMPERATURAS

70

Poço de proteção
(*Thermowell*)



6. TRANSDUTORES DE TEMPERATURA

71

Transdutores de temperatura (TT) são os dispositivos com os quais se pode converter a variação de valor ôhmico de um sensor térmico num sinal proporcional de corrente contínua.

O sinal serve para ativar:

- instrumentos indicadores convencionais de bobina móvel
- indicadores digitais de temperatura
- registradores de temperatura
- unidades de controle e processamento de dados

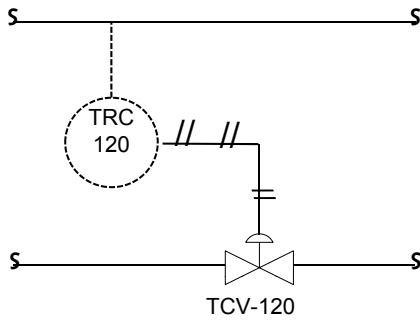


TRANSMISSOR: dispositivo que adapta o sinal do condicionador para a rede industrial, que pode ser um sinal de 4 a 20 mA, 3 a 15 PSI, digital, Internet, etc.

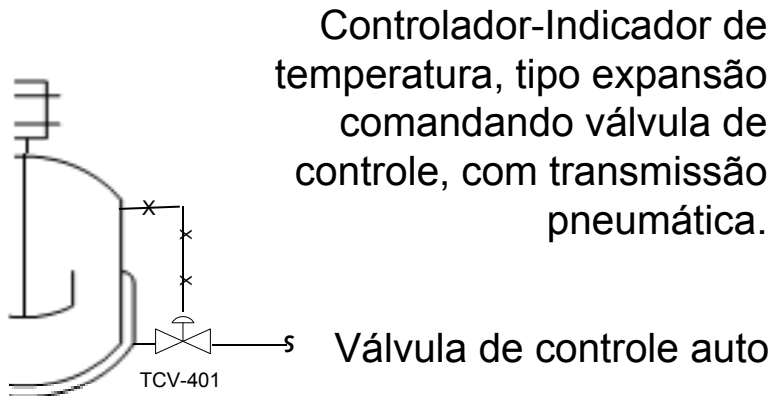


Malhas de controle e Temperatura

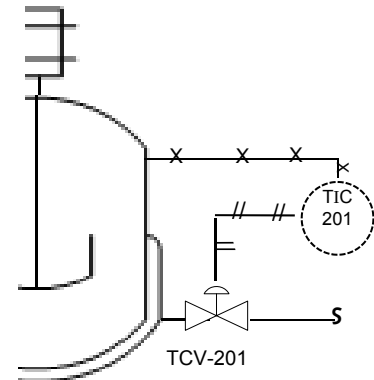
73



Registrador controlador de temperatura, no painel (c/ transmissão elétrica) comandando válvula de controle, com transmissão pneumática.



Controlador-Indicador de temperatura, tipo expansão comandando válvula de controle, com transmissão pneumática.

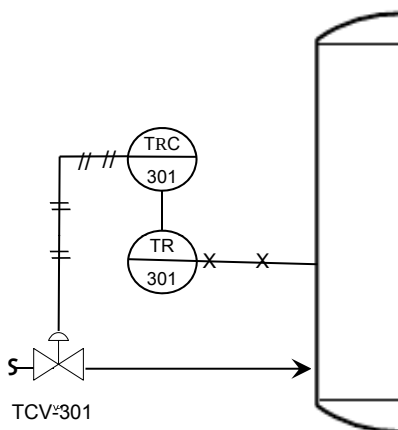
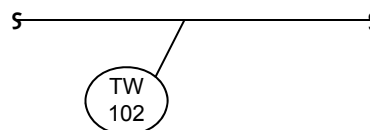


Válvula de controle auto atuada.

Malhas de controle e Temperatura

74

Poço para termômetro ou termopar.



Instrumento combinado de registro e controle de temperatura no painel, comandando válvula de controle com transmissão pneumática.

Conversão de sinal

75

Um transmissor eletrônico de temperatura calibrado de 50 -140 °F e tem um sinal de saída de 4 - 20 mA. Calcule a corrente de saída do transmissor, se a temperatura medida é de 79 °F.

$$y = \left(\frac{20 - 4}{140 - 50} \right) x + b = \left(\frac{16}{90} \right) x + b$$

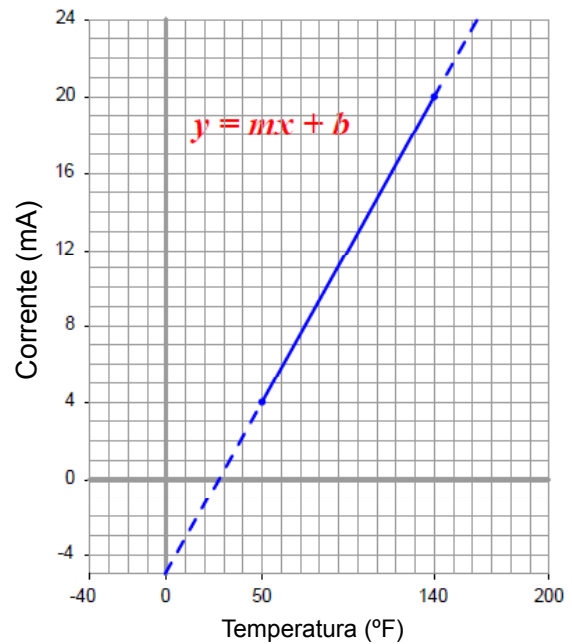
Usando os valores de 4 mA para y e 50 de para x:

$$4 = \left(\frac{16}{90} \right) 50 + b$$

Logo, $\therefore b = -4.89$

$$y = \left(\frac{16}{90} \right) 79 - 4.89$$

$$\therefore y = 9.16 \text{ mA}$$



Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

Conversão de sinal

76

Um transmissor eletrônico de temperatura calibrado de 50 -140 °F e tem um sinal de saída de 4 - 20 mA. Calcule a corrente de saída do transmissor, se a temperatura medida é de 79 °F.

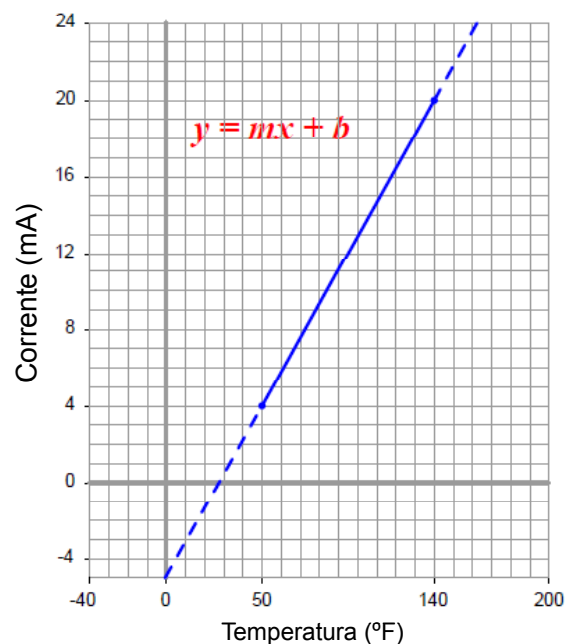
Outra alternativa:

$$\text{Porcentage } m = \frac{(79 - 50)^{\circ} C}{(140 - 50)^{\circ} C} \times 100\% = 32.22\%$$

Logo, substituindo este valor percentual em nossa equação linear padrão para sinais de 4-20 mA, temos:

$$y = \left(\frac{16}{100} \right) 32.22 + 4$$

$$\therefore y = 9.16 \text{ mA}$$

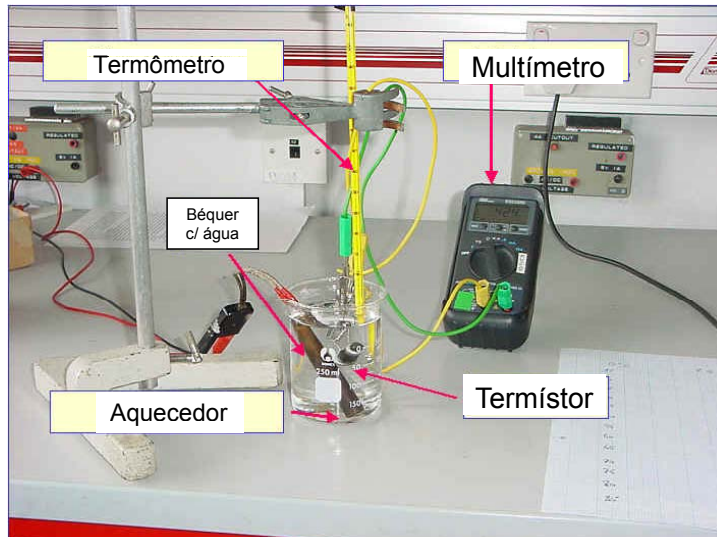


Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

Experimento

77

- Na bancada do laboratório um RTD, termistor, e um termopar foram colocados num becker com 750 ml de água sob aquecimento e as leituras foram feitas a partir de 19 ° C a 80 ° C.
- Nas seguintes duas tabelas se mostram os resultados obtidos.



Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

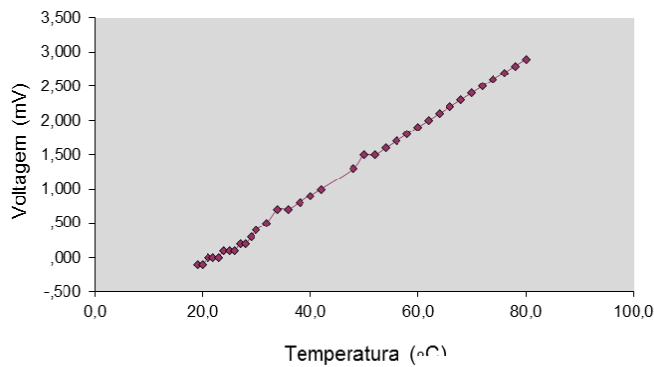
Dados Experimentais (alguns pontos)

78

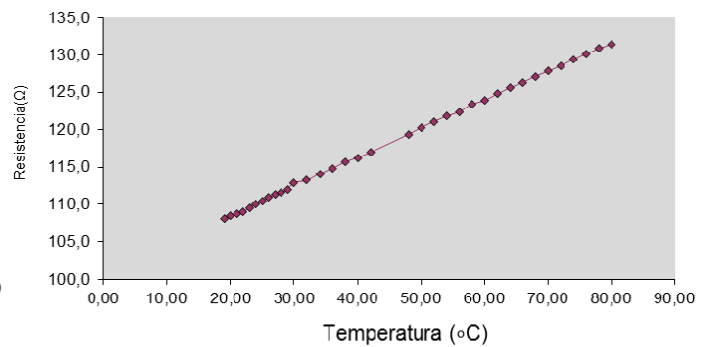
Temperatura (°C)	Termopar (mille-Volts)	RTD (ohms)	Termistor (kilo-ohms)
19	-0.10	108.00	105.60
20	-0.10	108.40	99.80
21	0.00	108.70	94.20
22	0.00	109.00	88.20
23	0.00	109.50	83.80
24	0.10	110.00	79.70
25	0.10	110.40	75.90
26	0.10	110.90	73.30
27	0.20	111.30	70.00
28	0.20	111.50	68.40
29	0.30	112.00	63.40
30	0.40	112.90	60.50
32	0.50	113.20	54.80
34	0.70	114.10	49.20
36	0.70	114.80	45.50

Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

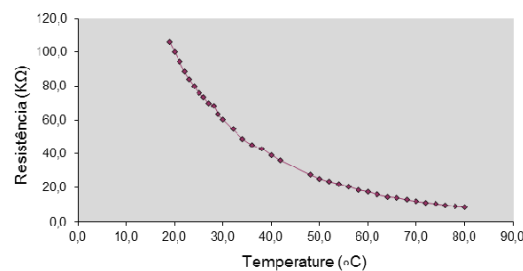
Termopar



RTD



Termistor



Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

• Em resumo

Termopar	RTD	Termistor
✓ Simples ✓ Robustos ✓ autoalimentado ✓ Baratos ✓ Ampla variedade ✓ Ampla faixa de T°	✓ Mais estáveis ✓ Mais precisos ✓ Mais lineais que os termopares	✓ Alta saída ✓ Rápido ✓ medições ohms de dois fios
- o Não lineais - o Baixa voltagem - o Requer referencia - o Menos estáveis - o Menos sensíveis	- o Caros - o Requer fonte de corrente - o Pequeno ΔR - o autoaquecimento	- o Não linear - o Faixa limitada de T° - o Frágeis - o Requer fonte de corrente - o autoaquecimento

Profª Ninoska Bojorge TEQ/ UFF

80

Mais informação sobre o princípio de funcionamento destes medidores pode ser consultada em:

- Non Contact Temperature Measurement - <http://www.omega.com/literature/transactions/volume1/>
- Temperature Sensors - <http://www.temperatures.com/>
- Temperature Measurements Info Notes - <http://www.inxinc.com/temperat.htm>
- Medição de Temperatura – Pirômetro de Radiação - <http://orion.ufrgs.br/lmm/aula10/pirometr.htm>
- The Fundamentals of Infrared Temperature Measurement - <http://www.pyrometer.com/technology/irfundamentals.htm>
- Temperature - <http://www.unidata.ucar.edu/staff/blynds/tmp.html>
- Temperature Standards - <http://www.irl.cri.nz/msl/teresea.htm>
- Edinburgh Engineering Virtual Library - <http://www.eevl.ac.uk/>
- <http://www.authorstream.com/Presentation/Arkwright26-50440-Temperature-Measurement-Scales-Units-devices-specified-according-construction-class-as-Education-ppt-powerpoint/>
- http://www.electronics-tutorials.ws/io/io_3.html
- <http://pt.scribd.com/doc/72452039/EEP-Sensores-Aula7>
- Tony R. Kuphaldt, Lessons In Industrial Instrumentation, Version 0.2 (Released September 29, 2008)