

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS - UEMG
CAMPUS DIVINÓPOLIS

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA
TERMÔMETROS, TERMOPARES, TERMORESISTÊNCIA

Breno Rios
Fabricia Mara
Fernanda Nayara
Izabella Guimarães
Janaina Mariano
Thulio Machado

Divinópolis/MG
Setembro de 2016

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS - UEMG
CAMPUS DIVINÓPOLIS

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA
TERMÔMETROS, TERMOPARES, TERMORESISTÊNCIA

Breno Rios
Fabricia Mara
Fernanda Nayara
Izabella Guimarães
Janaina Mariano
Thulio Machado

Trabalho apresentado ao prof. Jomar Teodoro Gontijo, responsável pela disciplina Engenharia de Automação de Processos Produtivos II, no 8º período A, para obtenção parcial de créditos.

Divinópolis/MG
Setembro de 2016

FIGURAS

1.	COMPARAÇÃO DAS ESCALAS	9
2.	TERMÔMETRO DE MERCURIO COM RECIPIENTE DE VIDRO.....	11
3.	TERMÔMETRO INDÚSTRIAL.....	12
4.	TERMÔMETRO DE RESISTÊNCIA	14
5.	SOMA DA F.E.M.....	17

TABELAS

1. GAMA DE MEDIDA GERAL DE TERMORESISTÊNCIAS..... 14

SUMÁRIO

RESUMO.....	06
1. INTRODUÇÃO	07
2. ESTADOS DA MATÉRIA E TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA	08
2.1 Condução	08
2.2 Convecção	09
2.3 Radiação	09
3. ESCALAS DE TEMPERATURA	10
3.1. Escala Celcius.....	11
3.2. Escala Farenheit.....	11
3.3. Escala Kelvin.....	11
4. TERMÔMETROS	12
4.1. Termômetros líquidos.....	12
4.1.1 Termômetros de dilatação de líquido em recipientes de vidro ...	12
4.1.2 Termômetros de dilatação de líquido em recipientes metálicos.	13
4.2. Termômetros sólidos	14
4.2.1 Características de construção	14
4.3. Termômetros de resistência	14
4.3.1 Gama de medidas	15
5. EFEITOS TERMOELÉTRICOS	16
5.1. Efeito Seebeck	16
5.2. Efeito Peltier	16
5.3. Efeito Thomson	17
5.4. Efeito Volta	17
5.5. Lei do circuito homogêneo	17
5.6. Metais intermediários	17
5.7. Temperaturas intermediárias	18
6. CONCLUSÃO	18
7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	19

RESUMO

A medição de *temperatura* é ponto de interesse da ciência há muitos anos. O corpo humano é um péssimo termômetro, pois só consegue diferenciar o que está frio ou quente em relação à sua própria temperatura. Percebe-se que a medição da temperatura é uma das variáveis mais usadas na indústria de controle de processos nos seus mais diversos segmentos. Portanto, com o passar dos tempos o homem começou a criar aparelhos que o auxiliassem nesta tarefa. Será comentado neste artigo os estados da matéria e transferência de energia, os tipos de termômetros, as escalas de temperatura, os efeitos termoelétricos e as leis do circuito homogêneo, metais intermediários e temperaturas intermediárias.

Palavras chave: Temperatura, Escalas, Termômetro.

1. INTRODUÇÃO

A temperatura é, provavelmente, uma das grandezas físicas mais medidas e controladas. A temperatura está de algum modo presente nas mais variadas situações, desde o nosso dia-a-dia até à investigação científica. As grandezas e os fenómenos físicos dependem quase sempre da temperatura, o que a torna um parâmetro da maior relevância. Além disso é uma variável importante na Termodinâmica, a qual é parte importante dos currículos do ensino básico e secundário.

A temperatura é medida através de escalas padronizadas. E pode ser obtida com o auxílio de diversos instrumentos.

Com a criação das diversas escalas, houve a necessidade da definição das curvas dos vários sensores e de seus pontos de calibração. Isto foi alcançado nas diversas reuniões desde 1889 até hoje onde finalmente chegamos ao ITS-90 (International Temperature Scale), mas esta é uma longa história. Atualmente as escalas mais utilizadas são Celsius e Fahrenheit. Kevin e Rankine são mais utilizadas por cientistas e engenheiros. Quanto as outras escalas, elas acabaram sendo esquecidas.

O artigo apresentado centra-se no estudo teórico da temperatura e da sua medição. com o objetivo de esclarecer quais são as escalas de temperatura, quais são os instrumentos de medição mais utilizados e como eles funcionam, o que são os efeitos Seebeck, Peltier, Thompson e Volta, e outros assuntos relacionados a medição de temperatura.

2. ESTADOS DA MATÉRIA E TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA

A matéria que existe em nossa volta é formada de moléculas sendo constituídas por átomos. Uma combinação destes átomos forma as substâncias que conhecemos, porém, devemos distinguir que o átomo não é a menor porção da matéria, ou a menor porção indivisível da matéria como pensavam os gregos que postularam sua existência como, por exemplo, Demócrito. O termo transferência de energia é usado para descrever a transferência de excitação eletrônica de uma espécie química, para outra, igual ou diferente, ou entre grupos de uma mesma molécula.

Na década de 1920, Perrin desenvolveu um modelo de transferência de energia baseado na ressonância entre os dipolos elétricos do doador e do receptor, onde as moléculas idênticas apresentavam exatamente a mesma frequência de oscilação, o que levaram a calcular um raio para transferência de energia grande, da ordem de centenas e, às vezes, de milhares de Ångströms, até o final do século XVI, quando foi desenvolvido o primeiro dispositivo para avaliar temperatura, os sentidos do nosso corpo foram os únicos elementos de que dispunham os homens para dizer se certo corpo estava mais quente ou frio do que outro, apesar da inadequação destes sentidos sob ponto de vista científico.

2.1 Condução

A condução é um processo de transferência de energia através de um meio material, sem transporte de matéria. a energia térmica se propaga de partícula para partícula do meio, ocorrendo principalmente nos materiais sólidos.

O modelo que relaciona a temperatura com o movimento das partículas pode ser usado para explicar a condução de calor através de um corpo. A medida que recebem calor, os átomos ou moléculas do corpo vibram mais intensamente e a energia cinética dessas partículas é transferida sucessivamente de uma partícula para outra, essa transferência de energia cinética é a propagação de calor.

Como o calor se propaga de partícula para partícula, corpos mais densos, com maior número de partícula por unidade de volume, especialmente partículas livres, são bons condutores. Isto explica por que os metais são bons condutores. Pelo mesmo motivo, os líquidos e gases não são bons condutores de calor. Os materiais em que a condução térmica praticamente não ocorre são chamados isolantes térmicos, por exemplo, a madeira e o isopor.

2.2 Convecção

Denomina-se convecção térmica o processo de transferência de calor que acontece devido a movimentação de um material. Essa transmissão do calor que acontece geralmente nos fluidos (líquidos e gases). Diferentemente da condução onde o calor é transmitido de átomo a átomo sucessivamente, na convecção a propagação do calor se dá através do movimento do fluido envolvendo transporte de matéria.

2.3 Radiação

A **radiação** térmica, também conhecida como irradiação, é uma forma de transferência de calor que ocorre por meio de ondas eletromagnéticas. Como essas ondas podem propagar-se no vácuo, não é necessário que haja contato entre os corpos para haver transferência de calor. Todos os corpos emitem radiações térmicas que são proporcionais à sua temperatura. Quanto maior a temperatura, maior a quantidade de calor que o objeto irradia. Um exemplo desse processo é o que acontece com a Terra, que, mesmo sem estar em contato com o Sol, é aquecida por ele.

A distribuição da temperatura pode ser demonstrada através de sensores infravermelhos, as cores em amarelo, vermelho e branco demonstram que está havendo perda de calor do sistema. Uma das aplicações da detecção de temperaturas mais elevadas medidas através da radiação, se refere ao diagnóstico de infecções e tumores, visto que ambos elevam a temperatura do corpo na região onde se encontram e assim, os aparelhos de termografia conseguem detectá-los.

3. ESCALAS DE TEMPERATURA

Existem três escalas de temperatura: Kelvin (K), Celsius (C) e Fahrenheit (F).

Ao medir a temperatura da atmosfera de sua casa, por exemplo, você não está simplesmente registrando a sensação térmica que seu corpo sente. Na verdade, está medindo a energia cinética das partículas de gás em sua casa. A temperatura se eleva na medida em que se aumenta a velocidade de movimento das partículas.

O termômetro é um dispositivo que permite verificar a temperatura ambiente. Ele pode apresentar diferentes escalas. A leitura da temperatura de seu termômetro é relacionada com a proporção da energia cinética das partículas.

A imagem a seguir compara as três escalas de temperatura, sendo que as escalas Kelvin e Celsius são as mais usadas pelos cientistas.

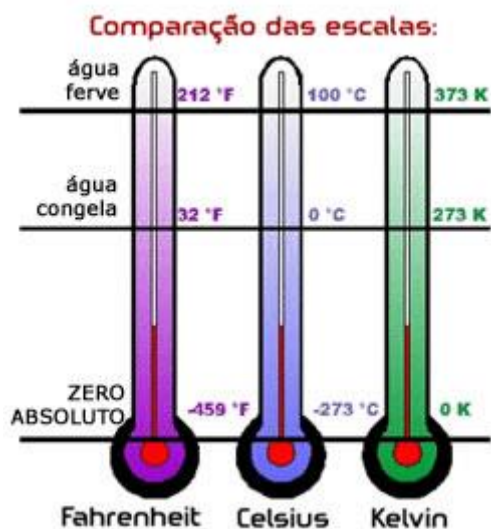


Figura1: Comparação das escalas

Comparação das escalas de temperatura Fahrenheit, Celsius e Kelvin.

Observe o ponto de congelamento e o ponto de ebulição para cada escala; estes são os pontos de referência. De acordo com a imagem, a água entra em ebulição em 100°C(373 K) e congela em 0°C (273 K). Vamos às definições:

Escala Celsius

É a escala usada no Brasil e na maior parte dos países, oficializada em 1742 pelo astrônomo e físico sueco Anders Celsius (1701-1744). Esta escala tem como pontos de referência a temperatura de congelamento da água sob pressão normal (0 °C) e a temperatura de ebulição da água sob pressão normal (100 °C).

Escala Fahrenheit

Outra escala bastante utilizada, principalmente nos países de língua inglesa, criada em 1708 pelo físico alemão Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736), tendo como referência a temperatura de uma mistura de gelo e cloreto de amônia (0 °F) e a temperatura do corpo humano (100 °F).

Em comparação com a escala Celsius:

$$0\text{ °C} = 32\text{ °F}$$

$$100\text{ °C} = 212\text{ °F}$$

Escala Kelvin

Também conhecida como escala absoluta, foi verificada pelo físico inglês William Thompson (1824-1907), também conhecido como Lorde Kelvin. Esta escala tem como referência a temperatura do menor estado de agitação de qualquer molécula (0 K) e é calculada a partir da escala Celsius.

Por convenção, não se usa "grau" para esta escala, ou seja 0 K, lê-se zero kelvin e não zero grau kelvin. Em comparação com a escala Celsius:

$$-273\text{ °C} = 0\text{ K}$$

$$0\text{ °C} = 273\text{ K}$$

$$100\text{ °C} = 373\text{ K}$$

4. TERMÔMETROS

Estes aparelhos são utilizados para se medir temperatura. A palavra termômetro origina-se do grego thermo que significa quente e metro que significa medida.

Existem três grandes construtores de termômetros Celsius, Fahrenheit e Kelvin estes criadores obtiveram termômetros confiáveis e precisos.

A medição se dá a partir do estado de agitação molecular apresentado pelos corpos. Todas as substâncias são constituídas de pequenas partículas, as moléculas que se encontram em contínuo movimento. Quanto mais rápido o movimento das moléculas, mais quente se apresenta o corpo e quanto mais lento mais frio se apresenta o corpo. A construção de um termômetro está baseada no uso de alguma grandeza física que depende da temperatura, como a dilatação de um líquido ou sólido quando exposto à elevação da temperatura, volume de um gás mantido a uma pressão constante, o volume de um corpo e a resistência elétrica de condutores metálicos entre outras grandezas.

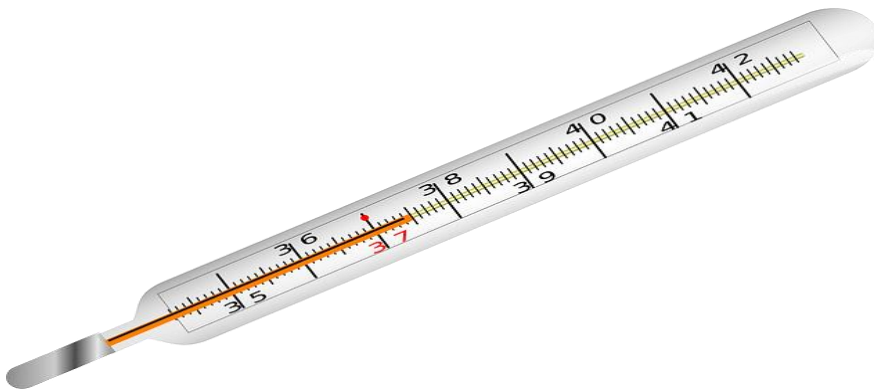


Figura 2- Termômetro de mercúrio com recipiente de vidro.

Termômetro convencional da escala de temperatura Celsius usado para medir febre.

4.1 Termômetros líquidos

Estes termômetros de dilatação de líquidos baseiam-se na lei de expansão volumétrica de um líquido com a temperatura dentro de um recipiente fechado. Os tipos podem variar conforme sua construção. Podem ser feitos com recipientes de vidro transparente ou metálico.

4.1.1 Termômetros de dilatação de líquido em recipiente de vidro

Estes termômetros são constituídos de um reservatório cujo tamanho depende da sensibilidade desejada, soldada a um tubo capilar de seção a mais uniforme possível fechado na parte superior.

O reservatório e a parte do capilar são preenchidos de um líquido. Na parte superior do capilar

existe um alargamento que protege o termômetro no caso da temperatura ultrapassar seu limite máximo. Após a calibração, a parede do tubo capilar é graduada em graus ou frações deste. A medição de temperatura se faz pela leitura da escala no ponto em que se tem o topo da coluna líquida.

Nos termômetros industriais, o bulbo de vidro é protegido por um poço metálico e o tubo capilar por um invólucro metálico.

Os líquidos mais usados são: mercúrio, tolueno, álcool e acetona.

No termômetro de mercúrio, pode-se elevar o limite máximo até 550°C, injetando-se gás inerte sob pressão, evitando a vaporização do mercúrio. Por ser frágil é impossível registrar sua indicação ou transmiti-la à distância, o uso deste termômetro é mais comum em laboratórios ou em indústrias quando com proteção metálica.



Figura 3- Termômetro Industrial

4.1.2 - Termômetro de dilatação de líquido em recipiente metálico.

São termômetros que o líquido preenche todo o recipiente e sob o efeito de um aumento de temperatura se dilata, deformando um elemento extensível (sensor volumétrico).

Bulbo: Suas dimensões variam de acordo com o tipo de líquido e principalmente com a sensibilidade desejada.

Capilar: Suas dimensões são variáveis, sendo que o diâmetro interno deve ser o menor possível, a fim de evitar a influência da temperatura ambiente, porém não deve oferecer resistência a passagem do líquido em expansão.

Elemento de Medição: o elemento usado é o Tubo de Bourdon, os materiais mais usados são: bronze fosforoso, cobre - berílio, aço - inox e aço - carbono.

4.2- Termômetros sólidos

São termômetros à dilatação de sólidos, que se baseiam no fenômeno da dilatação linear dos metais com a temperatura.

4.2.1 - Características de construção

O termômetro bimetalico consiste em duas lâminas de metais com coeficientes de dilatação diferentes sobrepostas, formando uma só peça. Variando-se a temperatura do conjunto, observa-se um encurvamento que é proporcional a temperatura.

Na prática, a lâmina bimetalica é enrolada em forma de espiral ou hélice, o que aumenta a sensibilidade.

O termômetro mais usado é o de lâmina helicoidal, e consiste em um tubo bom condutor de calor, no interior do qual é fixado um eixo que por sua vez recebe um ponteiro que se desloca sobre uma escala.

A faixa de trabalho dos termômetros bimetalicos vai aproximadamente de -50 a 800 °C, sendo sua escala bastante linear. Possui exatidão na ordem de +/- 1%.

4.3 Termômetros de Resistência

Termoresistência, ou termômetros de resistência, são nomes genéricos para sensores que variam sua resistência elétrica com a temperatura. O seu funcionamento baseia-se na variação da resistência elétrica de modo proporcional à temperatura do meio em que são colocadas. A lei de variação da resistência, de acordo com a temperatura, pode ser aplicada a qualquer condutor elétrico, o elemento sensor na maioria dos casos é feito de platina e níquel e encapsulados em bulbos de cerâmica ou vidro.

As termoresistências por apresentarem excelentes características tornaram-se um dos sensores de medição de temperatura mais utilizados numa ampla faixa de utilização em processos industriais. É também um dos principais sensores padrão em laboratórios de calibração.

A termometria de resistência utiliza as relações características da resistência elétrica com a temperatura, por forma a efetuar medições de temperatura. Para ligas metálicas e semicondutores, a relação temperatura-resistência segue uma única equação, sendo esta dependente do material envolvido. Visto que a maior parte é construída a partir de metais condutores, estes apresentam geralmente coeficientes de temperatura positivos, fazendo com que um aumento de temperatura resulte num aumento da resistência. Por sua vez, a maior parte dos semicondutores apresenta um coeficiente de temperatura da resistência negativo.

Na sua montagem convencional, o bulbo de resistência é montado numa bainha de aço inox

totalmente preenchida com óxido de magnésio permitindo uma ótima condução térmica e protegendo o bulbo de qualquer impacto ou choques mecânicos. A interligação do bulbo é feita com fio de cobre ou, em montagens especiais, com fios de prata ou níquel isolados entre si. Com este tipo de montagem a isolação é mínima entre os terminais do bulbo e a bainha. Os termômetros de resistência são geralmente do tipo sonda de imersão, de forma a poderem ser introduzidos no meio cuja temperatura se pretende determinar. Uma forma típica de construir uma termoresistência consiste em revestir um pequeno tubo de platina ou prata com material cerâmico, enrolar a resistência sobre esta e revestir esta última com uma outra camada de cerâmica. Esta montagem é aquecida a altas temperaturas para assegurar o recozimento do enrolamento resistivo, e montada na ponta da sonda que é protegida por um encapsulamento final.



Figura 4: Termômetro de resistência.

4.3.1 Gama de Medida

A gama de medida de uma termoresistências depende do material utilizado na sua construção. Na tabela seguinte pode observar-se a gama de medida geral de termoresistências constituídas por materiais resistivos diferentes.

Termoresistência	Gama de medida (°C)
Platina, Pt	-258 a 900
Níquel, Ni	-150 a 300
Cobre, Cu	-200 a 120

Tabela 1: Gama de medida geral de termoresistências.

5. EFEITOS TERMOELÉTRICOS

O efeito termoelétrico é a produção de uma tensão elétrica a partir de um gradiente de temperaturas. Isto é, ao submetemos dois lados de um aparelho termoelétrico a temperaturas diferentes, ele gera uma tensão elétrica, e vice-versa, pois o efeito termoelétrico é reversível. Quando é aplicado um gradiente de temperaturas a um material ou aparelho termoelétrico, os elétrons tendem a migrar para o lado menos quente, enquanto os prótons fluem para o lado mais quente, criando assim uma diferença de potencial elétrico. Existem três tipos distintos de efeitos termoelétricos: efeito Seebeck, efeito Peltier e efeito Thomson.

5.1 Efeito Seebeck

O efeito Seebeck foi o primeiro dos três a ser identificado, em 1821, pelo físico alemão Thomas Johann Seebeck, e refere-se à conversão direta de calor em energia elétrica. Seebeck demonstrou que aquecendo a junção entre dois condutores elétricos (termopar), ao ligar os outros terminais dos fios a um aparelho de medição, é possível registrar uma pequena tensão elétrica. Efeito Peltier

5.2 Efeito Peltier

O efeito Peltier foi descoberto em 1834 por Jean Peltier, um relojoeiro francês. O efeito Peltier é uma transferência de calor entre os dois lados do termopar quando este é sujeito a uma corrente elétrica. O efeito Peltier é particularmente difícil de demonstrar em condutores metálicos, devido ao efeito de Joule.

O último dos efeitos foi descoberto em 1851 por William Thomson, mais tarde nobilitado Lord Kelvin. Descreve a absorção ou emissão de calor que ocorre num condutor homogêneo sujeito a um gradiente de temperatura, quando este é submetido a uma corrente elétrica. Thomson demonstrou também que existe uma relação entre os coeficientes de Seebeck e Peltier.

O trabalho de Thomson indicou também que a utilização de um termopar para gerar energia elétrica a partir de um gradiente de temperaturas, ou enquanto bomba de calor ou frigorífico, seria um processo tipicamente ineficiente devido ao efeito de Joule e à transmissão de calor por condução.

5.3 Efeito Thomson

Em 1834 William Thomson (Lord Kelvin) mostrou que se as forças eletromotrizes de Peltier fossem as únicas fontes de energia nas soldagens do circuito fechado, então, a força eletromotriz resultante, aquela que chamamos de força eletromotriz de Seebeck deveria depender linearmente da temperatura.

Em muitos materiais, o coeficiente de Seebeck não é constante de acordo com a variação da temperatura. Desse modo, uma dada variação de temperatura pode resultar numa mudança no coeficiente de Seebeck, e a isso podemos denominar de gradiente do coeficiente Seebeck. Se a corrente é conduzida na direção deste gradiente, ocorrerá, então, uma versão contínua do efeito Peltier. Ele descreve o aquecimento ou arrefecimento de um condutor, percorrido por uma corrente, de acordo com um gradiente de temperatura.

O efeito Thomson compreende a relação entre a taxa de produção de calor, que pode ser maior ou menor que $I^2 R$, de acordo com a grandeza e direção da corrente, da temperatura e do material.

5.4 Efeito Volta

A experiência de Peltier pode ser explicada através do efeito volta enunciado a seguir.

“ Quando dois metais estão em contato a um equilíbrio térmico e elétrico; existe entre eles uma diferença de potencial que pode ser de ordem de volts”.

Esta diferença de potencial depende da temperatura e não poder ser medida diretamente.

5.5 Lei do circuito homogêneo

Da descoberta dos efeitos termoelétricos partiu-se através da aplicação dos princípios da termodinâmica à enunciação das três leis que constituem a base da teoria termoelétrica nas medições de temperatura com termopares, portanto, fundamentados nestes efeitos a nestas leis, podemos compreender todos os fenômenos que ocorrem na medida de temperatura com estes sensores.

5.6 Lei dos Metais Intermediários

"A soma algébrica das f.e.m. termais em um circuito composto de um número qualquer de metais diferentes é zero, se todo o circuito estiver à mesma temperatura".

Deduz-se daí que um circuito termoelétrico, composto de dois metais diferentes, a f.e.m. produzida não será alterada ao inserirmos, em qualquer ponto do circuito, um metal genérico, desde que as novas, junções sejam mantidas a temperaturas iguais.

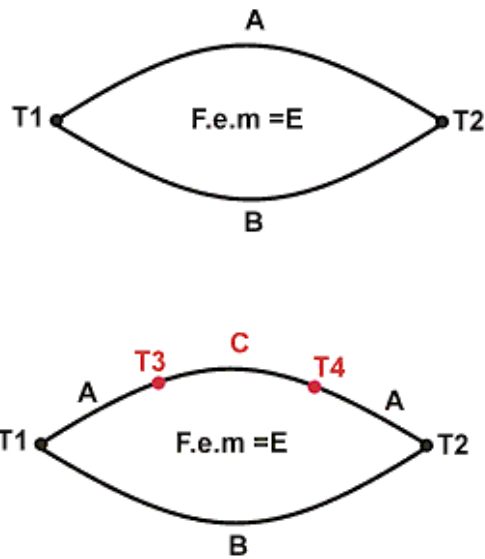


Figura 5: Soma da F.e.m

Onde se conclui que: Se: $T3 = T4$ e $E1 = E2$

$T3$ diferente de $T4$ e $E1$ diferente de $E2$

Um exemplo de aplicação prática desta lei é a utilização de contatos de latão ou cobre, para interligação do termopar ao cabo de extensão no cabeçote.

Concluindo... Desta forma podemos concluir que os contatos dos conectores do tipo Sindal em cerâmica podem ser utilizados desde que seus terminais de ligação estejam a mesma temperatura. Como o seu dimensional é muito reduzido, não temos a possibilidade real de por estarem tão próximos e a temperaturas diferentes de modo a modificar as leituras. Como no início relatamos que os conectores de cerâmica tem seu custo elevado, esta seria uma ótima saída para esse problema.

5.7 Lei das temperaturas intermediárias

Da descoberta dos efeitos termoelétricos partiu-se através da aplicação dos princípios da termodinâmica à enunciação das três leis que constituem a base da teoria termoelétrica nas medições de temperatura com termopares, portanto, fundamentados nestes efeitos a nestas leis, podemos compreender todos os fenômenos que ocorrem na medida de temperatura com estes sensores.

"A f.e.m. produzida em um circuito termoelétrico de dois metais homogêneos e diferentes entre si, com as suas junções às temperaturas T_1 e T_3 respectivamente, é a soma algébrica da f.e.m. deste circuito, com as junções às temperaturas T_1 e T_2 e a f.e.m. deste mesmo circuito com as junções às temperaturas T_2 e T_3 ".

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados deste trabalho podemos observar que a escolha e a seleção do instrumento utilizado para a medição de temperatura deve se levar em conta várias características do sistema a se medir, de modo que o instrumento escolhido possa responder ao tipo de medição que se pretende. Observando também as escalas de temperatura, bem como as leis do circuito homogêneo, metais intermediários e temperaturas intermediárias. Para a escolha do instrumento também se deve levar em conta o fator econômico, pois ele é muito importante, por vezes decisivo, na indústria.

7. REFERÊNCIAS

ANACLETO, Alcinda Maria da Costa. **Temperatura e sua medição**. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para obtenção do grau de Mestre em Física para o Ensino. 200 p. Departamento de Física de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2007.