



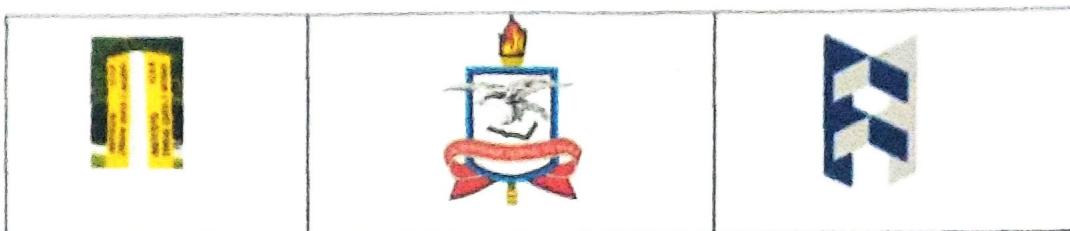
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS**  
**FACULDADE DE FÍSICA**

# **A FÍSICA DOS TERMÔMETROS: DA CRIAÇÃO À EVOLUÇÃO**

**ALYSON MAIA BATISTA**

**BELÉM – PARÁ**

**2021**



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
FACULDADE DE FÍSICA

ATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO –  
TCC

Ata da sessão de apresentação e defesa de Trabalho de Conclusão de Curso para concessão de grau de Licenciado em Física, realizado às 09:00 h do dia 11 de Setembro de 2021, de forma virtual por meio da Plataforma Google Meet (<https://meet.google.com/nvi-fstt-khf>), cuja orientação teve início em 01 de Junho de 2020 sendo intitulada: “**A FÍSICA DOS TERMÔMETROS: DA CRIAÇÃO A EVOLUÇÃO**”, contendo 39 páginas, que foi apresentado durante 30 minutos pelo(a) discente **ALYSSON MAIA BATISTA**, matrícula Nº 201708140066 diante da banca examinadora aprovada pela Faculdade de Física do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará, assim constituída: **Prof. Dr. Rubens Silva (Orientador – UFPA)**, **Prof. Dr. Erick Frade Silva (Examinador 1 - UFOPA)**, **Prof. Dr. Isaac Torres Sales (Examinador 2 - UFPA)** e **Prof. Msc. Márcio Diego Oliveira Tavares - (Examinador 3 – Colégio Marista N. S. de Nazaré)**. Em seguida o(a) mesmo(a) foi submetido à arguição, tendo demonstrado conhecimentos no tema objeto da proposta de TCC, favorecendo à banca examinadora apresentar contribuições para melhoras no desenvolvimento e decidir pelo conceito **BOM** do mesmo, bem como conceder o prazo máximo de 15 dias para serem efetuadas as modificações sugeridas pela banca, se for o caso, e em seguida a mesma será assinada por todos os membros. Para constar foram lavrados os termos da presente ata que lida e aprovada recebe a assinatura dos integrantes da banca examinadora e do(a) DISCENTE.

ORIENTADOR: *Rubens Silva*

EXAMINADOR 1: *Erick Frade Silva*

EXAMINADOR 2: *Isaac Torres Sales*

EXAMINADOR 3: *Márcio Tavares*

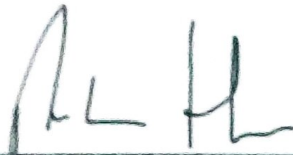
DISCENTE: *Alysson Maia Batista*

# ALYSON MAIA BATISTA

## "A FÍSICA DOS TERMÔMETROS: DA CRIAÇÃO A EVOLUÇÃO"

Monografia apresentada como requisito para obtenção do título de Licenciado em Física pela Faculdade de Física do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal Pará, submetida à apreciação da banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Orientador:



Prof. Dr. Rubens Silva  
(FACFIS - ICEN - UFPA)

Examinador 1:



Prof. Dr. Erick Erade Silva  
(UFOPA)

Examinador 2:



Prof. Dr. Isaac Torres Sales  
(UFPA)

Examinador 3:



Prof. Msc. Márcio Diego Oliveira Tavares  
(Colégio Marista N. S. de Nazaré)

Belém, 11 de Setembro de 2021.

A todos que  
contribuíram para meus  
conhecimentos ao longo da  
vida e aqueles que me  
ajudaram de várias formas  
para eu estar aqui.

# AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo por terem me criado e me apoiado;

Ao professor Rubens que me ajudou muito nessa caminhada, além de ter ajudado neste trabalho, sendo meu orientador, me ensinou muito com professor, me solucionou problemas como diretor da FACFIS, me coordenou muito a seguir bem no PET FÍSICA sendo o meu tutor e também me ajudou como amigo a não deixar faltar algo que precisasse na minha jornada;

À minha família que colaborou para o meu desenvolvimento;

Agradeço a todos os profissionais que me proporcionaram educação ao longo da minha vida, tanto no ensino superior, como no ensino médio e no fundamental;

Agradeço aos meus amigos que sempre estiveram comigo e que sempre me apoiaram;

Agradeço a grandiosa UFPA pelo acolhimento, pelos ensinamentos e a ajuda de todas as formas oferecida a mim;

E não menos importante, agradeço a todos da banca e aqueles que de alguma forma colaboraram neste trabalho.

Muito obrigado!

**Aprender é a única coisa de  
que a mente nunca se cansa,  
nunca tem medo e nunca se  
arrepende**

**LEONARDO DA VINCI**

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Termoscópio.....	25
<b>Figura 2</b> - Termopar.....	26
<b>Figura 3</b> - Termômetro de álcool.....	27
<b>Figura 4</b> - Termômetro de mercúrio.....	27
<b>Figura 5</b> - Termômetro de máxima e mínima.....	28
<b>Figura 6</b> - Termômetro a gás.....	29
<b>Figura 7</b> - Termômetro de cristal líquido.....	30
<b>Figura 8</b> - Termômetro de lâmina bimetálica.....	31
<b>Figura 9</b> - Termômetro registrador.....	31
<b>Figura 10</b> - Termômetro resistência de platina.....	32
<b>Figura 11</b> - Termômetro digital.....	33
<b>Figura 12</b> - Pirômetro de radiação.....	34
<b>Figura 13</b> - Pirômetro óptico.....	34

## RESUMO

Os instrumentos termométricos foram sendo estudados desde A.C. e durante séculos foi tentando de fato construir um termômetro confiável. A primeira idealização do termômetro foi como termoscópio passando por vários melhoramentos, como os termômetros de álcool, termômetros de mercúrio, termômetros a gás, dentre outros até chegarmos nos termômetros digitais. A busca por um instrumento preciso se dá devido à importância da grandeza temperatura para física e para outras ciências e aplicações. A temperatura e sua medição estão ligadas ao nosso cotidiano desde o simples fato de querermos saber a temperatura em qual nosso corpo se encontra até ao fato de querermos a temperatura no qual nossa cidade está. Muitos aparelhos utilizam sensores para poder saber em qual temperatura está funcionando para uma finalidade que queremos, enfim os termômetros surgiram para nos propiciar medições que nos darão certeza para um fim nosso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Termologia; Temperatura; Termometria; História da ciência.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
1. CAPÍTULO 1- HISTÓRIA DOS TERMÔMETROS.....	11
1.1. As medições primordiais.....	11
1.2. Descoberta dos primeiros medidores.....	11
1.3. Primeiros termômetros.....	13
1.4. Medidores modernos.....	15
2. CAPÍTULO II - A TEMPERATURA SOB MEDIDA .....	17
2.1. Medidas de temperatura.....	17
2.2. Escalas de temperatura.....	19
3. CAPÍTULO III - MODELAGEM DOS TERMÔMETROS.....	24
3.1. Termômetro.....	24
3.2. Pirômetro.....	24
3.3. Termoscópio.....	25
3.4. Termopar.....	26
3.5. Termômetro a álcool.....	26
3.6. Termômetro de mercúrio.....	27
3.7. Termômetro de máxima e mínima.....	28
3.8. Termômetro a gás.....	29
3.9. Termômetro de cristal de líquido.....	29
3.10. Termômetro de lâmina bimetálica.....	30
3.11. Termômetro registrador.....	31
3.12. Termômetro de resistência de platina.....	32
3.13. Termômetro digital.....	32
3.14. Pirômetro de radiação.....	33
3.15 Pirômetro óptico.....	34
4. CAPÍTULO IV – Padronização e digitalização.....	35
4.1. Em busca da perfeição.....	35
4.2. Padronização.....	35

4.3. Termômetro digital.....	36
CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS.....	39

## INTRODUÇÃO

A história da medição da temperatura inicia na medição por sensação térmica que o tato nos proporciona. A partir daí fomos evoluindo neste conceito, obtendo alguns outros tipos de medições até chegar aos termômetros.

Ao longo da história da humanidade vários métodos foram empregados para medir a temperatura, cada vez mais com maior precisão. O aperfeiçoamento das formas de medição de tempo foi adquirido aos poucos pela crescente necessidade de uso dessa grandeza física.

Com a necessidade de fugir da abstração, que era a medição de temperatura, foi preciso padronizar a medida de temperatura dos corpos. Faz-se o uso de comparações entre a variação de propriedades das substâncias, como volume, pressão, resistência elétrica, variação de cor, etc. para relacioná-las com a variação de temperatura.

Com isso, os termômetros se tornaram os principais medidores de temperatura e confiáveis, variando entre diversos modelos (serão tratados em um outro tópico deste trabalho), desde um mais simples a um mais complexo, ambos dando resultados coerentes.

Iremos abordar ao longo deste trabalho, didaticamente, alguns tópicos que vão demonstrando, de forma geral, a criação e a evolução do termômetro. No Capítulo 1 temos os primórdios dos termômetros, passando pela idealização do primeiro instrumento termométrico e o primeiro termômetro, prosseguindo com os demais termômetros e similares ao longo da história. No Capítulo 2 abordaremos as medidas de temperatura e suas escalas termométricas, não deixando de falar um pouco da história destas. Em seguida, no Capítulo 3 voltamos aos termômetros, na maioria deles, com um enfoque em como eles funcionam, de uma maneira sucinta e clara, ilustrando também cada um desses termômetros mencionados no Capítulo 3, dando uma ludicidade ao trabalho. Por fim, no Capítulo 4 mostramos a como se deu a busca pela perfeição dos termômetros e a sua padronização, concluindo com a digitalização dos termômetros.

# CAPÍTULO 1

## HISTÓRIA DOS TERMÔMETROS

### 1.1 - AS MEDIÇÕES PRIMORDIAIS

Por volta de 5000 anos atrás o homem já tinha domínio sobre o fogo, pois este já era utilizado para iluminar principalmente as cavernas e também para se aquecer em épocas de muito frio. Muitos gregos, principalmente Aristóteles, acreditavam que os quatro elementos responsáveis pela formação do universo eram: a água, o fogo, a terra e o ar, sendo que o fogo foi considerado por ele, como seco e quente e esses quatro elementos seguiam uma ordem natural de movimento.[4]

Desde os primórdios, bem antes de alguns filósofos exporem seus pensamentos sobre a noção de temperatura e de como medir-la, os antepassados tinham intuição sobre a temperatura. De modo que, ao se tocar em algum objeto, e logo em seguida sentir a temperatura dele através do tato, dependendo de como o objeto estivesse, se poderia senti-lo como quente ou como frio. Nesse contexto, um médico da antiguidade, Hipócrates, fazia a medição da temperatura dos pacientes com base nessa sensação do tato.[5]

No século II a.C., Filo de Bizâncio, engenheiro grego, fez um instrumento similar ao termoscópio (instrumento idealizado por Galileu Galilei, séculos depois) que funcionava medindo a coluna de água num recipiente de vidro à medida que o calor entrasse no recipiente.[9]

No século II d.C., Galeno, médico grego, sugeriu que as sensações de “quente” e “frio” fossem medidas com base em uma escala com quatro divisões numeradas acima e abaixo de um ponto neutro; para tal escala termométrica, atribuiu a temperatura de “4 graus de calor” à água fervente, a temperatura de “4 graus de frio” ao gelo e a temperatura “neutra” à mistura de quantidades iguais daquelas duas substâncias.[1]

1300 depois, um outro “físico” (designação então dada aos médicos), Harme de Berna, criou uma escala de temperaturas baseada nas latitudes terrestres.[11]

### 1.2 - A descoberta dos primeiros medidores

Um marco histórico para a termometria foi a invenção do termoscópio. Idealizado pelo cientista italiano Galileu Galilei em 1592, o termoscópio, de modo geral, serve para comparar as variações de temperatura, através da variação de propriedades mensuráveis como dilatação térmica e pressão. O termoscópio era composto de um recipiente de vidro ligado a um tubo com um bulbo em uma das extremidades, como havia extremidades abertas, o experimento era facilmente afetado pela pressão atmosférica, tornando as medições mais confiáveis.[9]

Santori da Capodistria (1561-1636), Professor de medicina na Universidade de Pádua. Usando as referências de Galileu, projetou seu instrumento termométrico que consistia em um recipiente com água e um tubo de ensaio. O princípio neste instrumento vem dos gregos antigos que quanto maior a temperatura de uma mistura, nesse caso a água, mais ela se expande, neste caso, os pacientes de Santori sopravam o tubo de ensaio e deslocavam-se água pela dilatação, marcando um certo nível da coluna de água, porém assim como experimento de Galileu, ele continha imprecisões. Em 1612, Santori inventou o termômetro clínico para poder fazer medições em seus pacientes.[9]

Cornelius van Drebbell (1572-1634), Robert Fludd (1574–1637) e Giambalitta Porta (1538–1615) foram outros três que também possam ter sido um dos primeiros a idealizar os primeiros instrumentos termométricos.

Cornelius Van Drebbell, relojoeiro italiano, teve bastante influência na termometria, pois, ele foi idealizador do termostato, cujo a funcionalidade é controlar a temperatura de alguns aparelhos eletrônicos e também construiu um aparelho termométrico similar ao de filon em 1636.[9]

Robert Fludd, médico inglês, e Giambalitta Porta, alquimista italiano, foram um pouco menos influentes, mas mesmo assim contribuíram na termometria com suas pesquisas, respectivamente, um em relação à medicina e outro em relação a meteorologia onde ambas áreas tem a necessidade da medição de temperatura.

Por volta de 1632, o médico francês Jean Rey (1583-1645) inventou o termômetro a líquido, geralmente utilizava-se água como líquido. Ele simplesmente encheu um frasco, semelhante ao de Santori, poucas as diferenças, até a água alcançar o nível do início do gargalo. Media-se então a

variação da altura da coluna de água conforme a temperatura variava, todavia, seu instrumento ainda estava sujeito às variações atmosféricas. [9]

### **1.3 – Invenção dos termômetros**

Graças aos avanços nas técnicas de uso do vidro, aproximadamente em 1654, Fernando II de Médici, duque da Toscana, desenvolveu o termômetro de bulbo de álcool etílico, a principal referência para os que são utilizados hoje em dia. Seu instrumento era similar ao do Jean Rey, contudo ele fechou hermeticamente suas duas extremidades e com isso tornou mais seguro as medições que contribuíram tanto para a medicina quanto para outra ciência.[9]

Robert Hooke (1635-1703), cientista inglês, buscou determinar a temperatura do fundo do mar (termômetro de mínima). Nesse contexto, surge o modelo de dupla marcação que foi introduzido por Rutherford (1753-1819), combinando um de mercúrio (temperatura máxima) e outro de álcool (temperatura mínima). Este aparelho tem o bulbo alongado e o seu tubo é recuperado em forma de U. Ele consiste que na curvatura inferior existe uma pequena porção de mercúrio que é impelida pelo álcool para o tubo das temperaturas máximas, quando faz calor, ou para o das temperaturas mínimas, quando a temperatura decresce.[9]

Guillaume Amontons (1663-1705), físico francês, idealizou o termômetro de ar em 1699. Este termômetro era composto por uma esfera de vidro de onde um tubo estreito em forma de u aberto. Definiu seus pontos fixos de referência como: o ponto de ebulição da água e o “ponto que o a perde sua elasticidade”. A partir de uma observação, ele percebeu que a diminuição da temperatura em uma certa quantidade de gás implica na diminuição da pressão, em seguida deduziu que a pressão não pode ser negativa e relacionando com a temperatura e viu que deve existir uma temperatura mínima.[9]

Em 1702, Ole Roemer (1644-1710), astrônomo dinamarquês, determinou sua escala para termômetros com dois pontos de referência e o emprego do mercúrio como líquido termométrico.[10]

Em 1714, Daniel Gabriel Fahrenheit, físico alemão, ao perceber que o mercúrio dilatava mais facilmente que o álcool e que a sua dilatação era

praticamente uniforme, ele inventa então o termômetro de mercúrio, que por sua vez era fechado a vácuo dando uma enorme precisão a medição da temperatura. Fahrenheit utilizou em suas medições a escala que ele mesmo criou, chamada escala Fahrenheit (F°).[9]

Em 1735, John Harrison, relojoeiro inglês, projetou os termômetros bimetalícos que são baseados na dilatação térmica dos metais para detectar mudanças de temperatura.[9]

Em meados de 1740, o físico holandês Pieter Van Musschenbroek (1692-1761), construiu um dispositivo utilizado para medir a temperatura de um forno, baseado na dilatação de uma barra metálica que recebia radiação térmica emitida pelo próprio forno.[9]

Em 1782, Josiah Wedgwood, ceramista inglês, propôs o Pirômetro de Wedgwood (constituído de cilindros de argila seca) ele percebeu que o ponto de ebulição do mercúrio limita o termômetro de mercúrio em vidro a temperaturas abaixo de 356 ° C, o que é muito baixo para muitas aplicações industriais, como cerâmica, fabricação de vidro e metalurgia. Para resolver este problema, o ceramista inglês, utilizou um método para medir temperaturas em seus fornos. Seu método e escala foi amplamente adotado em aplicações científicas e técnicas assim como a sua escala chamada de Escala Wedgwood (° W).[9]

Em 1821, o físico Thomas Johann Seebeck inventa o termopar. Os termopares são sensores de temperatura simples, robustos e de baixo custo, sendo amplamente utilizados na maioria dos processos de medição de temperatura. Ele é composto por dois fios de metais diferentes soldados nas extremidades e, quando aquecidos, produzem uma corrente elétrica que depende da temperatura, assim como no pirômetro óptico.[9]

O físico francês Antoine César Becquerel (1788-1878) inventou em 1826 o primeiro pirômetro com a utilização de um par termoelétrico. Alguns anos depois, Becquerel aplicou seus resultados para ajudar na construção do pirômetro óptico.[10]

Frederic Daniell, químico britânico, em 1830, aperfeiçoou o pirômetro de registro (Phil. Trans., 1830).[9]

No século XIX, a medição da temperatura em relação à detecção de doenças começou a ser integrada. O médico e bacteriologista de origem

francesa, Alfred François Donné (1801-1878), realizou um estudo com sua pesquisa aplicada em mais de 1800 pacientes afetados pela febre, usando um termômetro axilar projetado por ele. [12]

Mais tarde, Carl Reinhold August Wunderlich (1815-1877), físico e professor alemão, mostrou que a febre é um sintoma e não uma doença, por isso definiu uma faixa de temperatura corporal normal entre 36,3 e 37,5 °C.[12]

Thomas Clifford Allbutt projetou em 1866 um termômetro portátil para uso clínico, 12 cm, que atinge seu ponto de equilíbrio mais rapidamente, podendo medir a temperatura em apenas cinco minutos. Daquele momento em diante, a medida da temperatura se tornou uma prática rotineira.[10]

Por volta de 1885, o físico britânico, Hugh Longbourne Callendar, inventa o termômetro de sensor de temperatura de resistência de platina, a sua resistência varia linearmente com a temperatura mais do que qualquer outro sensor de temperatura, e um termômetro de resistência padrão de platina (SPRT) é o sensor de temperatura com a maior precisão disponível no mercado.[9]

Em meados 1892, Henri Louis Le Châtelier, químico francês, construiu o primeiro pirômetro óptico, porém o primeiro pirômetro óptico a ser patenteado foi em 1899 Everett F. Morse. O pirômetro óptico são sensores de temperatura que utilizam como informação a radiação eletromagnética emitida pelo corpo a medir.[9]

#### **1.4 – Medidores modernos**

A cada ano que passava os cientistas buscavam criar tipos de termômetros para ajudar em várias áreas. A partir do século XX, estes termômetros foram ficando mais precisos e até mais rápido em suas medições.

Em 1901, Kurlbaum e Holborn, desenvolveram pirômetros modernos, pirômetros de filamento que desapareceram e deram mais visibilidade aos pirômetros [2]

Em 1902, Charles Féry (1865-1935), físico francês, construiu o primeiro pirômetro de radiação, conhecido como “lunette de Féry”, ainda empregado na siderurgia.[9]

No final da década de 20, o físico estadunidense John Bertrand Johnson, realizou observações quantitativas sobre hoje em dia chamada de “ruído de Johnson”, similar ao ruído térmico, e com isso contribuiu para a melhora dos termômetros de ruídos.[9]

As primeiras versões dos termômetros digitais surgiram em 1970, a fim de substituir os termômetros de mercúrio, uma vez que estes termômetros causam grandes problemas ambientais e os termômetros digitais proporcionam resultados imediatos e confiáveis.

Em 1994, Jukka P. Pekola, Kari P. Hirvi, Juha P. Kauppinen e Mikko A. Paalanen, físicos finlandeses, desenvolveram um termômetro baseado em propriedade de condução elétrica por efeito de túnel conjunto de nano metal-isolante-metal, abrindo as portas para a nanotecnologia na termometria.[9]

Em 2003, Lafe Spietz, Korand W. Lehnert, Irfan Siddiqi e Robert Schoelkopf, físicos estadounidenses, publicaram na revista Science um trabalho no que eles apresentaram um termômetro que consiste em duas partes metálicas de alumínio, de 1 nanômetro por 10 nanômetros, separadas por óxido de alumínio. Se mede a potência do ruído em função da voltagem aplicada, ajustando as medidas a uma curva que depende de uma temperatura e que em ausência de voltagem proporcional a potência associada ao ruído de Johnson.[9]

Hoje em dia temos uma variedade de termômetros a disposição no mercado. Vários de nós comumente convivemos perto de alguém que tinha um termômetro de mercúrio, contudo estes estão sendo substituídos, por alguns motivos ambientais e também pela facilidade e rapidez que o termômetro de radiação apresenta, além de um custo relativamente razoável.

## **CAPÍTULO 2**

### **A TEMPERATURA SOB MEDIDA.**

#### **2.1 – MEDIDAS DE TEMPERATURA**

Da mesma maneira que precisamos medir tempo utilizando um relógio ou até mesmo medir espaços com uma régua, teve-se a necessidade de medir a temperatura, saber qual o valor que representa o quanto está quente um objeto ou o quanto está frio.

A criação de uma escala se baseia primeiro em escolher uma grandeza termométrica que consiga se modificar regularmente com a temperatura. Um exemplo é a dilatação, um objeto que esquenta mais sucessivamente se dilata mais, de tal forma que podemos avaliar a temperatura através dessa dilatação, uma avaliação indireta.[10]

A correspondência entre os valores da grandeza  $x$  (a grandeza que escolhemos) e da temperatura  $T$  faz parte da função termométrica. Para tal funcionamento da grandeza termométrica escolhida dar certo é necessário o equilíbrio térmico, com o corpo que deseja ser analisado, para que a grandeza termométrica se mantenha constante.[10]

Existe uma variedade de termômetros que se diferenciam uns dos outros pela sua grandeza termométrica utilizada. Nos termômetros que utilizam líquidos como o álcool ou mercúrio, temos o volume como grandeza termométrica, uma vez que ao ser submetido a uma certa temperatura o volume deste líquido varia e com isso modifica a altura da coluna, associando-se a uma certa temperatura.[10]

O termômetro de mercúrio é o que mais comumente temos acesso. A expansão térmica desse metal é uniforme, desde que respeite os limites do ponto de fusão e ebulição, prestando-se bem para medidas de temperatura entre  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $+320\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O mercúrio não se adere ao vidro e tem facilidade de leitura. Ao bulbo que contém o líquido, adapta-se uma haste capilar. O pequeno diâmetro busca principalmente nos mostrar a dilatação ou a contração da substância, aumentando a precisão da medida.[10]

O tubo capilar é feito de vidro e deve ser feito de tal forma que resista as temperaturas limites, também deve ser livre de qualquer empecilho que torne a medida duvidosa. Além disso, não deve ser quimicamente reativo com o líquido. O vidro não pode ter suas dimensões variando, ou seja, sua dilatação necessita ser nula (ou bem perto disso), para isso o vidro sofre um processo de recozimento. O tubo deve ter suas divisões equivalentes para obter variações de temperaturas iguais, ou seja, ter sua leitura linear. [10]

No enchimento do termômetro de mercúrio, adapta-se um funil no topo da coluna e aquece-se o bulbo para dilatar o ar, tornando-o rarefeito; coloca-se então o metal no funil e resfria-se o bulbo. O ar se contrai e puxa o mercúrio para dentro. Repete-se esta operação até o enchimento do bulbo e da parte inferior do tubo. Para que a dilatação do líquido seja uniforme, o ar deve ser expulso do interior do tubo capilar. Aquece-se o mercúrio contido no bulbo até que o tubo se complete ao máximo de líquido, logo em seguida separa-se o funil e fecha-se o topo do instrumento a fogo (solda). Ao resfriar, faz-se vácuo acima da coluna do mercúrio. Para líquidos como o etanol, deixa-se um pouco de ar para evitar a fragmentação da coluna líquida quando do resfriamento.[10]

Na construção do termômetro, a sensibilidade é parâmetro essencial e é compreendido sob dois pontos de vista: a) a rapidez de resposta do instrumento às variações de temperatura, e b) a capacidade de diferenciar pequenas variações de temperatura. No caso (a), o termômetro possui reservatório com uma pequena quantidade de líquido, o que nos deixa definir o equilíbrio rapidamente; na situação (b), aumenta-se o espaçamento entre as frações de grau da escala termométrica, o que requer maiores massas de líquido ou então restringe-se o seu funcionamento a uma faixa de temperatura estreita, como é o caso do famoso termômetro clínico.[10]

A princípio, os termômetros de dilatação de líquidos, funcionam com base na lei de expansão volumétrica do líquido com a temperatura dentro de um recipiente fechado.[4] Esta relação não é linear, porém, para diferenças de temperaturas pequenas, a função termométrica se reduz a uma forma linear do tipo:

$$T(x) = ax+b \tag{1}$$

Onde  $T$  é a temperatura da substância utilizada e que muda com a propriedade  $x$  da substância. As constantes  $a$  e  $b$  dependem da substância

utilizada podendo serem calculadas determinando dois pontos na escala de temperatura. Para isso, escolhem-se dois sistemas cujas temperaturas sejam invariáveis no decorrer do tempo e que possam ser reproduzidas facilmente quando necessário. Na maioria dos casos os pontos fixos escolhidos são, o ponto do gelo, onde ocorre a fusão do gelo sob pressão normal (uma atmosfera):  $T_G$ , e outro ponto fixo é o ponto do vapor, onde ocorre a ebulição da água sob pressão normal (uma atmosfera):  $T_V$ . O intervalo delimitado entre as marcações feitas (correspondentes às temperaturas  $T_V$  e  $tT_G$ ) é dividido em partes iguais. Cada uma das partes desse intervalo é a unidade (o grau) da escala.[10]

Assim os valores numéricos obtidos, podem assumir a temperatura  $t$  que compõem a escala termométrica, escala essa que escolhemos para graduar o termômetro. Os valores números variam dependendo da escala termométrica atribuído, com isso há uma arbitrariedade nos valores, logo, um observador está a  $20^\circ$  e um outro corpo está a  $40^\circ$ , dependendo da escala, o primeiro valor obtido não significa ser a metade do valor do segundo corpo, a única coisa que sabemos é que o primeiro é mais “frio” que o segundo.[10]

## 2.2 - ESCALAS DE TEMPERATURA

Tivemos, ao longo da história da termometria, centenas de escalas termométricas, porém algumas se destacaram mais e foram utilizadas com mais frequência. Dentre elas tivemos escalas que foram padronizadas..

As primeiras intuições sobre as escalas termométricas surgiram com Galeno, quando ele atribuiu a temperatura de “4 graus de calor” à água fervente, a temperatura de “4 graus de frio” ao gelo e a temperatura “neutra” à mistura de quantidades iguais daquelas duas substâncias 2.[1]

Alguns séculos depois, Berna criou uma escala de temperaturas baseada nas latitudes terrestres. Ele atribuiu “4 graus de frio” aos polos e “4 graus de calor” ao equador. De acordo com essa escala, seria possível estabelecer a mistura ideal de drogas a administrar, de acordo com o local da Terra em que o paciente se encontrasse.[1]

Giovanni Francesco Sagredo (1571-1620), nobre veneziano, por volta do final do século XVI, foi um dos primeiros a utilizar a palavra grau em uma

escala de temperatura. Ele definiu pontos de referência no termoscópio, dividindo em 360 partes iguais a de uma circunferência, sendo grau essas divisões.[9]

Essas primeiras tentativas de criar escalas não se concretizaram, pois faltava a definição de pontos fixos para se basear e assim determinar a temperatura. A definição dos pontos fixos, que são o ponto de fusão e de ebulição da água, foi iniciado pelo Francês Joachim Dalencé (1640-1707) por volta de 1668, que na verdade, definiu dois pontos fixos, porém foram o ponto de fusão do gelo e o da manteiga. Anos depois, no final do século XVII, o conde italiano, Carlo Renaldini (1615-1699) modificou um dos pontos, utilizando agora o ponto de ebulição da água.[9]

O físico inglês, Robert Hooke (1635-1703), construiu um termômetro que foi referência para a leitura de outros termômetros, sendo permitida pela Royal Society em 1663. Hooke foi um dos primeiros a tentar a calibração dos termômetros.[10]

Isaac Newton (1642-1727), físico inglês, publicou em 1701 um artigo, *A Scale of Degrees of Heat and Cold*, descreveu um escala em 12 graus (relacionando com as 12 polegadas que tem um pé), e destacava o ponto de fusão da e de ebulição da água, sendo que na sua escala os valores eram, respectivamente, 0° e 34°. Newton utilizou óleo de linhaça como líquido termométrico do seu instrumento e sua escala definida como escala Newton (°N).[10]

O astrônomo dinamarquês, Ole Christensen Rømer (1644-1710), em meados do início do século XVIII, introduziu a sua escala termométrica, a escala Rømer (°Rø). O zero foi inicialmente à temperatura de congelamento de sal e gelo com valor de 0° grau e o ponto de ebulição da água foi definido como 60 graus.[9]

Anos depois, Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736), físico alemão, definiu a sua própria escala, a escala Fahrenheit (°F). Ele utilizou a mistura de gelo, sal e cloreto de amônio, para definir o primeiro ponto fixo, obtendo o valor 0°. O segundo ponto fixo ele considerou o do corpo humano era 96° (originalmente era 24° por relacionar com as 24 horas do dia). Ele definiu como valores de fusão e ebulição da água em nível do mar, são respectivamente, 32° e 212°. A escala fahrenheit foi utilizada por muito tempo pelos países

anglo-saxônicos, hoje em dia é menos utilizada, porém ainda existe em alguns lugares. Esta escala é considerada uma das 3 escalas mais usadas, um pouco menos que as outras duas (um dos fatos é pelo avanço da ciência) que ainda serão mencionadas neste trabalho.[10]

O Cientista francês, René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757), Réaumur, utilizou o álcool como líquido termométrico e comprovou que a solução dilatava a 80 milionésima de seu volume inicial quando aquecida no ponto de fusão do gelo ao ponto de ebulição da água. Ele então definiu como pontos fixos o ponto de congelamento ( $0^{\circ}\text{Ré}$ ) e o ponto de ebulição ( $80^{\circ}\text{Ré}$ ) da água. A sua escala foi muito utilizada na Europa, foi denominada escala Réaumur (Ré).[10]

Anders Celsius (1701-1744), astrônomo sueco, idealizou em 1741 a escala centígrada (escala dividida em 100 graus), que séculos depois foi renomeada para escala Celsius. A escala Celsius é baseada em dois pontos, no ponto de fusão e de ebulição da água em condições normais atmosféricas, e os seus valores correspondem, respectivamente, a  $0^{\circ}$  e  $100^{\circ}$ . Estes valores são muito próximos ao que são atribuídos a esses dois pontos fixos. Hoje em dia a escala Celsius é utilizada no mundo todo.[9]

O inglês Josiah Wedgwood (1730-1795), encontrou problemas na termômetro de mercúrio, uma vez que este instrumento não identificava certas temperaturas que era de interesse para sua indústria, assim, Wedgwood propôs no século XVIII uma escala que foi baseada no encolhendo da argila quando aquecido acima do calor vermelho, e o encolhimento foi avaliado comparando cilindros de argila aquecidos e não aquecidos, relacionando seus diâmetros. A escala foi nomeada em homenagem a ele de Wedgwood e teve definição para a temperatura do calor vermelho de  $1007,5^{\circ}\text{F}$ . Sua escala tinha 240 passos de  $130^{\circ}\text{F}$  e se estendia até  $32277^{\circ}\text{F}$ . [9]

O físico-matemático e engenheiro britânico William Thomson (Lorde Kelvin) (1824-1907), realizou estudos sobre a cinética molecular e viu que a temperatura é dependente da energia cinética das moléculas. Logo em seguida, propôs que o zero absoluto aconteceria quando a energia cinética das moléculas fosse nula. Ele estabeleceu, em 1848, a escala absoluta. Kelvin verificou que a pressão de um gás diminui de  $1/273$  do valor inicial quando resfriado a volume constante de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $-1^{\circ}\text{C}$ . O Kelvin é a fração  $1/273,16$  da

temperatura termodinâmica do ponto triplo da água, ou seja, é definido de tal modo que o ponto triplo da água é exatamente 273,16 K. A partir desse momento ele criou uma escala que é utilizada até hoje, a escala Kelvin.[10]

O físico escocês William John Macquorn Rankine, propôs em 1859, a escala Rankine cuja sua representação simbólica é Ra. Assim como a escala absoluta kelvin, o 0 Ra é o zero absoluto, contudo a variação do Rankine é definida sendo igual a um grau Fahrenheit. Assim, a variação de um Ra equivale à variação de um °F. Então a temperatura de -459,67 °F é exatamente igual a 0 Ra.[11]

O físico suíço, Pierre Eugène Chappuis (1855-1916), entre os anos de 1884 e 1887, trabalhando na Oficina Internacional de Pesos e Medidas (BIPM), relacionou as leituras dos melhores termômetros de mercúrio disponíveis com os valores obtidos e fazendo uso dos termômetros de gás a volume e pressão constante utilizando como gases termométricos o  $H_2$ ,  $N_2$  e  $CO_2$ . O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) adaptou em 1987 a denominada “escala normal” como a escala prática para a meteorologia internacional. Esta decisão foi ratificada na ocorrência da 1º Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) de 1889.[9]

Em 1927, a 7º CGPM adaptou a Escala Internacional de Temperaturas, no inglês, International Temperature Scale (ITS) de 1927, que é a primeira escala internacional.[9]

10 anos depois, a CIPM, realizou um comitê consultivo de termometria e calorimetria para aconselhar neste campo. Pouco depois, esse comitê passou a ser chamado de Comitê Consultivo de Termometria (CCT). Este comitê tem um papel fundamental na evolução da EIT.[9]

O físico norte-americano, William Francis Giaque (1895-1982), em 1939 propôs a utilização para função termométrica de qualquer escala empírica de temperatura uma função linear sem nenhum termo independente e que se utilizasse o ponto triplo da água como o único ponto fixo para determinar o valor da constante de proporcionalidade.[10]

Em 1948, tivemos a primeira reformulação da ITS de 1927 e que se chamaria a partir daquele momento de ITS-1948. Outras reformas

abandonaram o nome “grau centígrado” para a unidade de temperatura e chamaram a partir daí de “grau celsius” (°C).[9]

Em 1954, a 10ª CGPM adaptou a proposta realizada por Kelvin em 1854 de definir a unidade de temperatura termodinâmica em função de um intervalo entre o zero absoluto e um único ponto fixo. Se adotou como ponto fixo o ponto triplo da água para qual foi atribuído o valor da temperatura termodinâmica de 273,16° K.[9]

Em meados de 1968, tivemos a segunda reformulação da escala de temperatura, na qual se adapta a denominação da Escala Prática Internacional de Temperatura, no inglês, International Practical Temperature Scale (IPTS) de 1968. Na IPTS-1968 as unidades de temperatura termodinâmica e prática se definiram como iguais a 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água. Se nomeou esta unidade como Kelvin, símbolo K, em lugar do grau Kelvin (°K). Foi definido também a relação entre a escala Kelvin e Celsius  $T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,16$  e observando que ambas variam na mesma proporção, ou seja,  $\Delta T(^{\circ}\text{C}) = \Delta T(\text{K})$ . A partir daí as temperaturas abaixo de 0°C foram expressadas na escala Kelvin e temperaturas superiores em graus Celsius.[9]

Em 1990 entrou em vigor a IPTS-90 substituindo a IPTS-68 e a ITS-1976 (Escala Provisória de 1976 desde 0,5K à 30K), que está atualmente em prática. Outras adoções foram a utilização do ponto triplo da água (273,16 K), confirmando o que disse Giauque na década de 30, como ponto fixo de definição da escala no lugar do ponto de solidificação da água e o termopar deixou de instrumento de definição de escala termométrica.[9]

Percebemos que ao longo de séculos, as medições de temperatura foram mudando junto com sua escala. Hoje em dia a ciência utiliza mais as escalas Celsius e Kelvin, há países que utilizam outras escalas por motivos históricos e por acharem facilidades nas mesmas.

## **CAPÍTULO 3**

### **MODELAGENS DOS TERMÔMETROS**

#### **3.1 – TERMÔMETROS**

A palavra termômetro origina-se do grego “thermo” que significa quente e “metro” que significa medida. Com isso, o termômetro é definido como o instrumento que mede a temperatura.[11]

A maioria dos termômetros eram constituídos de álcool, gás e logo depois de mercúrio, contudo com o avanço da ciência foram sendo outros tipos de termômetros mais sofisticados.

O termômetro é de fundamental importância para diversas áreas da ciência como por exemplo a meteorologia ou a astronomia e atendendo a necessidade da medicina que em muitos casos nos ajuda a dar um diagnóstico do paciente.

#### **3.2 – PIRÔMETROS**

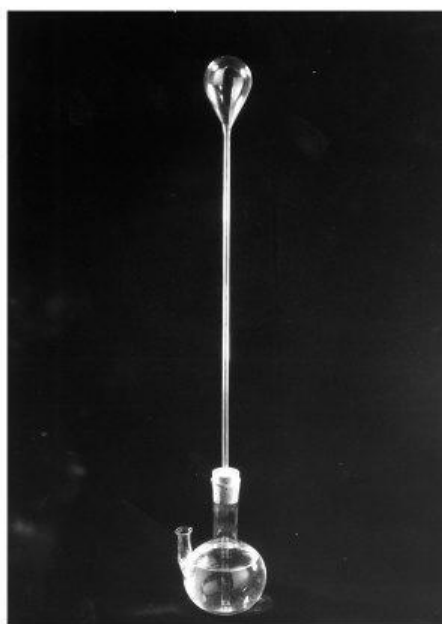
O pirômetro é um tipo de termômetro. A origem do nome é do grego “pyro”, que significa fogo, e “metros”, que significa medida. Logo, assim como o termômetro, o pirômetro mede temperaturas, porém o pirômetro utiliza a pirometria para essas medições, ou seja, utiliza-se como informação a radiação eletromagnética emitida pelo corpo. A radiação captada pelo pirômetro pode ser a que atua dentro do espectro visível (pirômetro óptico) ou a que atua dentro da faixa do infravermelho (pirômetro de radiação). Hoje em dia esse instrumento não necessita de contato com o corpo a ser medido.[2]

Os pirômetros de modo geral, tem muitas utilidades, uma delas é conseguir medir altas temperaturas (e ainda sem tocar nos objetos) e outra é dar rapidez nos resultados de temperaturas, comparando-se por exemplo com o termômetro de mercúrio, uma vez que estes são comumente usados para obtenção médica de sintomas como a febre e neste atual cenário pandêmico percebemos o aparecimento em massa do pirômetro para podermos ser ágeis no diagnóstico do coronavírus.

### 3.3 – TERMOSCÓPIO

Galileu inventou este instrumento em 1592. Ele é composto por uma esfera oca de vidro e nela conectamos um tubo também de vidro, acoplado nas extremidades havia um bulbo (ver figura 1). Esse instrumento analisa qualitativamente o aumento ou a diminuição de temperatura, por meio do deslocamento de uma substância termométrica no interior do tubo capilar.[1]

O funcionamento deste instrumento baseia-se em aquecer o bulbo para que parte do ar saísse e em seguida mergulha-se o tubo em um outro recipiente com água, logo que o bulbo resfriar, a água subia pelo tubo de forma forçada pela pressão atmosférica até a altura de um palmo acima do recipiente. A partir daí associavam o valor da temperatura em comparação à altura da coluna d'água. O aparelho construído por Galileu não possuía graduação em forma de escala. A medida da temperatura era feita pelo acompanhamento das variações da altura da coluna d'água.[10]



**Figura 1** – Termoscópio

**Fonte:** <https://origemdascosas.com/wp-content/uploads/2012/05/Termoscopio-de-Galileu.jpg>.

Acessado em 20 de maio de 2021

### 3.4 – TERMOPAR

O controle da temperatura e sua medida também são realizadas através dos dispositivos chamados de termopares, este dispositivo é constituído de dois metais distintos unidos em uma das extremidades (ilustração mostrada na figura 2). Quando há uma diferença de temperatura entre a extremidade unida e as extremidades livres, verifica-se o aparecimento de uma diferença de potencial que é medida por um voltímetro. Em 1822, o físico Thomas Seebeck descobriu (acidentalmente) que a junção de dois metais gera uma tensão elétrica em função da temperatura. O funcionamento dos termopares é baseado neste fenômeno, que é conhecido como efeito de Seebeck. Suas aplicações são: Indústria de refrigeração, ar condicionado, criometria (baixas temperaturas), pesquisas agrônômicas e ambientais, química e petroquímica.[10]

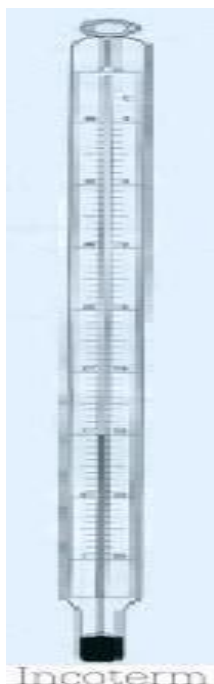


**Figura 2 – Termopar**

**Fonte:** <https://www.mundodaeletrica.com.br/y/1717/termopar-J-1024x533-720.jpg>.. Acessado em 20 de maio de 2021

### **3.5 – TERMÔMETRO A ÁLCOOL**

Desenvolvido por Fernando II de Médici, em 1654, graças a sua familiaridade em trabalhar com vidros. Constituído de um tubo capilar de vidro, fechado a vácuo, e um bulbo, contendo-se álcool (conforme a figura 3). Sua escala é fixada junto ao capilar e envolvida. Sua aplicação é na medição da temperatura corporal[12]

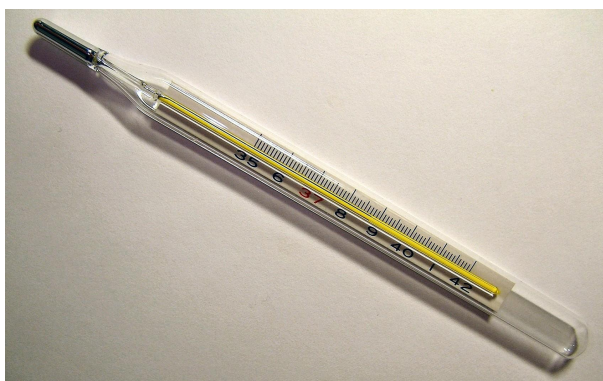


**Figura 3** – Termômetro a álcool

**Fonte:** <http://www.if.ufrgs.br/~leila/laborat1.jpg>. Acessado em 20 de maio de 2021

### 3.6 – TERMÔMETRO DE MERCÚRIO

O físico Fahrenheit em 1714 construiu um instrumento muito parecido com o termômetro a álcool, e consiste, de modo geral, em um tubo capilar de vidro, fechado a vácuo, e um bulbo, contendo mercúrio (observe a figura 4). Como visto, o termômetro de mercúrio veio para substituir o de álcool, uma vez que este possibilita achar muito mais valores de temperatura do que o termômetro de álcool. Este instrumento funciona com a dilatação ou a contração do mercúrio utilizando seus pontos fixos. O termômetro de mercúrio é utilizado para medição da temperatura corporal[10]



**Figura 4** - Termômetro de mercúrio

**Fonte:**

<http://s2.glbimg.com/PIOKinWwK80bqz9ajYDJAXOOPH0=/1700x1055/s2.glbimg.com/mKeHcs2LPSINjk-JfRgFmoKYOPA=/s.glbimg.com/jo/g1/f/original/2016/06/21/termometromercurio.jpg>.

Acessado em 20 de maio de 2021

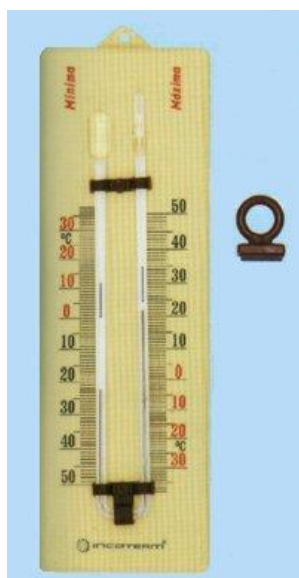
### 3.7 – TERMÔMETRO DE MÁXIMA E MÍNIMA

É um termômetro constituído por um tubo curvo no formato de U com dois bulbos de tamanhos diferentes, um em cada extremidade, um totalmente preenchido por álcool e o outro só parcialmente (ver figura 5).[7]

Nos extremos das colunas de mercúrio existem dois flutuadores de ferro esmaltado que são os índices das temperaturas, pois sobem quando o mercúrio se dilata, mas que ficam fixados ao tubo capilar quando o mercúrio se contrai pela fato da existência do atrito com a parede do tubo e só voltam à posição original com ajuda de um ímã.[10]

Quando a temperatura aumenta, o álcool se dilata e passa livremente pelo flutuador, acarretando com que o mercúrio se expanda conduzindo o flutuador a correspondente temperatura - a máxima. Quando a temperatura diminui o álcool se contrai e direciona o mercúrio e, conseqüentemente, o outro flutuador que indica a menor temperatura - a mínima.[10]

Este termômetro é muito utilizado na meteorologia e foi desenvolvido inicialmente por Hooke e aprimorado por Rutherford em meados do século XVII e XVIII.[10]



**Figura 5** – Termômetro de máxima e mínima

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/~leila/maxmin.jpg>. Acessado em 20 de maio de 2021

### 3.8 – TERMÔMETRO A GÁS

O termômetro de gás ou de volume constante mede a temperatura pela pressão de um gás a volume constante. Este termômetro é constituído por um bulbo ligado por um tubo capilar de um manômetro (um instrumento utilizado para medir a pressão de fluidos contidos em recipientes fechados.) (ver figura 6). O bulbo é preenchido com um gás de modo que o volume no bulbo não varia. A pressão do gás no bulbo pode ser obtida através da medição da diferença de nível, nos dois braços do manômetro. Diversas áreas industriais podem se beneficiar da aplicação do Termômetro a gás como os ramos da indústria alimentícia, laboratórios químicos entre outros segmentos. [7]

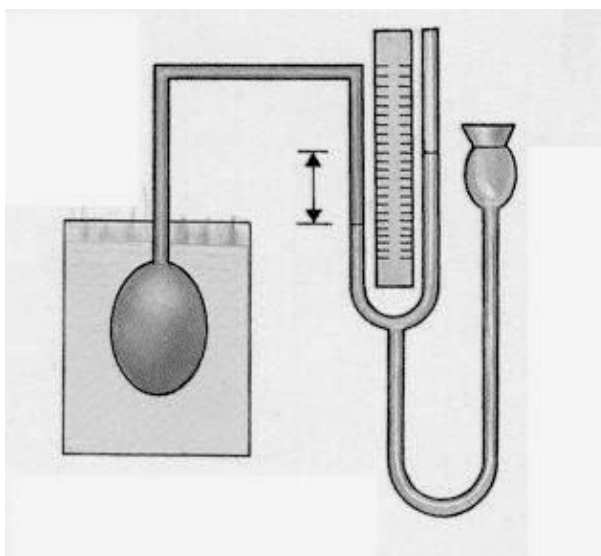


Figura 6 – Termômetro a gás

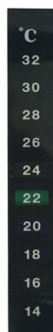
Fonte:

<http://2.bp.blogspot.com/-EXkYRaLzo5Q/Uza7a03Q5qI/AAAAAAAAABFo/1ufMi6s-q5w/s1600/TERMOMETRO+A+GAS.jpg>. Acessado em 20 de maio de 2021

### 3.9 – TERMÔMETRO DE CRISTAL LÍQUIDO

São constituídos de pequenas faixas plásticas transparentes com pequenos retângulos que contêm um cristal líquido que entram em contato com o corpo e, de acordo com o valor da temperatura, o cristal no seu interior, altera a sua cor (conforme a figura 7). Inventado por Bob Parker na Califórnia e

patenteado em 1970, este termômetro é muito utilizado na medicina e utilizado em domicílio, e comumente utilizado em aquários.[7]



**Figura 7** – Termômetro de cristal líquido

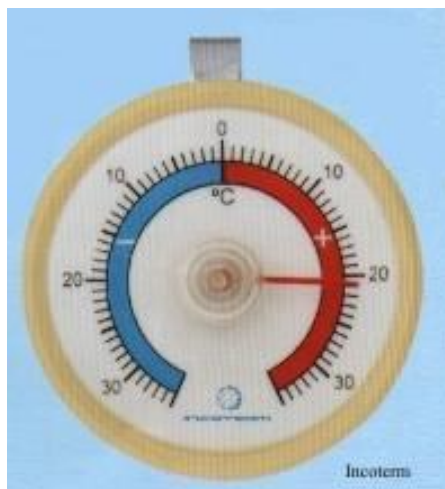
**Fonte:**

<https://loja.weconsultoria.com.br/fotos/extragrande/45083fe1/termometro-fita-de-cristal-liquido-faixa-14-32-c.jpg>. Acessado em 20 de maio de 2021

### **3.10 – TERMÔMETRO DE LÂMINA BIMETÁLICA**

Este instrumento é constituído por duas lâminas de metais diferentes soldadas uma com a outra e que, quando aquecidas, dilatam-se. Como visto, eles são de materiais diferentes, com isso, dilatam-se de maneira diferente, uma vez que eles têm coeficiente de dilatação diferente. Essa dilatação ocorre quando uma barra de metal ligada a outra barra de metal diferente são aquecidas ou resfriadas, resultando em diferentes alterações nos comprimentos dessas lâminas que produzirão um encurvamento da barra. Esse encurvamento é utilizado para abrir ou fechar válvulas bem como ligar ou desligar circuitos elétricos ou em outros casos, serve para registrar a quantidade de corrente que passa pela barra.[7]

Há também os que têm forma de espiral com uma extremidade fixa e a outra livre, com um ponteiro que gira com o aquecimento indicando a temperatura em um mostrador (observe a figura 8).[7]

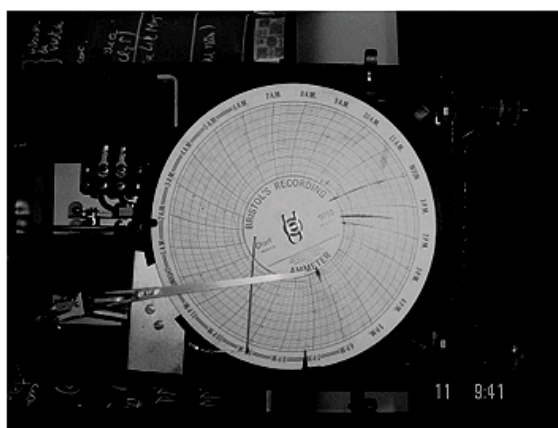


**Figura 8** – Termômetro de lâmina bimetálica

**Fonte:** <http://www.if.ufrgs.br/~leila/bimetal.jpg>. Acessado em 20 de maio de 2021

### 3.11 – TERMÔMETRO REGISTRADOR

Este termômetro registra as temperaturas durante todo um período, por exemplo, uma semana. Ele é muito utilizado nos observatórios de Meteorologia e também se encontra no emprego industrial, no controle de processos. A figura abaixo mostra um modelo de termômetro registrador, ele é constituído de um cilindro giratório, tem-se uma agulha contendo tinta e é movida por um tubo metálico, flexível, recurvado e cheio de petróleo (conforme a figura 9). As dilatações do petróleo causam distensão do tubo, transmitindo os seus movimentos à agulha por um sistema de pequenas alavancas.[10]



**Figura 9** – Termômetro registrador

**Fonte:** <https://www.scielo.br/img/revistas/rbef/v28n1/a13fig11.gif>. Acessado em 20 de maio de 2021

### 3.12 – TERMÔMETRO DIGITAL

Os termômetros digitais são baseados em propriedades elétricas ou eletrônicas. Podem ser encontrados em relógios de pulso e em equipamentos eletrônicos como computadores (ilustração mostrada na figura 10).[7]

A medida da temperatura é feita através da variação de suas características elétricas. Os mais comuns utilizam um resistor que faz parte de um circuito elétrico que aciona o indicador de temperatura de acordo com o valor da resistência.[7]



**Figura 10** – Termômetro digital

**Fonte:** <http://www.if.ufrgs.br/~leila/digital1.jpg>. Acessado em 20 de maio de 2021

### 3.13 – TERMÔMETRO DE RESISTÊNCIA DE PLATINA

Este instrumento é um tipo termorresistor, isto é, utiliza-se a resistência elétrica de um material para conhecer a temperatura, faz-se a relação entre essas duas grandezas para esse fim.[10]

As termorresistências (neste caso de platina), os bulbos de resistência, os termômetros de resistência ou RTD são sensores que se baseiam no princípio de variação da resistência ôhmica em função da temperatura. Elas aumentam a resistência com o aumento da temperatura. Seu elemento sensor consiste de uma resistência em forma de fio de platina de alta pureza encapsulado num bulbo de cerâmica ou vidro (conforme a figura 11). São utilizados em diversos setores industriais como a siderúrgica.[10]



**Figura 11** – Termômetro de resistência de platina

**Fonte:**

<https://instrumentoslaboratorio.net/wp-content/uploads/Term%C3%B3metro-de-resistencia-1.jpg>  
 . Acessado em 20 de maio de 2021

### 3.14 – PIRÔMETRO DE RADIAÇÃO

No início do século XX, Charles Féry desenvolveu o primeiro pirômetro na faixa do infravermelho.[9] O equipamento é feito com uma lente que focaliza essa radiação emitida em um sensor, que é sensível à luminosidade, e produz uma voltagem que é proporcional à radiação focalizada. Todo corpo acima de 0 K emite radiação térmica e através dessa radiação relacionamos com a temperatura (observe a figura 12).[7] A energia irradiada é proporcional a dada temperatura e ao comprimento de onda, de maneira que para se obter valores precisos e coerente de temperatura é necessário conhecer a emissividade do material que está sendo medido. São utilizados industrialmente onde as temperaturas estão acima da faixa de operação prática dos termopares[3]



**Figura 12** – Pirômetro de radiação

**Fonte:**

[https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ3KG94\\_4cKZXaL\\_ZrqOS9TLHySLojq1C9oNw&usqp=CAU](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ3KG94_4cKZXaL_ZrqOS9TLHySLojq1C9oNw&usqp=CAU). Acessado em 21 de maio de 2021

### 3.15 – PIRÔMETRO ÓPTICO

O pirômetro óptico foi construído em 1852 por Le Châtelier e patenteado em 1899 por Everett F. Morse.[9] Este instrumento é formado por um telescópio que contém um filtro, uma ocular e uma lâmpada. Através do telescópio é possível observar o filamento da lâmpada e comparar com a cor emitida pelo sistema que estamos medindo (ver figura 13). Esse instrumento baseia-se em selecionar uma faixa de radiação visível específica e a partir daí compara-se com a radiação da fonte calibrada. O operador altera a corrente no filamento até que este tenha o mesmo brilho do objeto e então utiliza uma escala graduada e calibrada para deduzir a temperatura.[7] São usados industrialmente onde as temperaturas estão acima da faixa de operação prática dos termopares [3]



**Figura 13** – Pirômetro óptico

**Fonte:**

<https://www.demaquinasyherramientas.com/wp-content/uploads/2018/08/Pirometro-parte-frontal.jpg>. Acessado em 21 de maio de 2021.

## CAPÍTULO 4

### PADRONIZAÇÃO E DIGITALIZAÇÃO

#### 4.1 – EM BUSCA DA PERFEIÇÃO

A busca pela “perfeição” surge através das incertezas que foram ocasionadas por algumas interferências nos instrumentos de medição, dentre estas interferências, a pressão atmosférica, entre outras.

As interferências nas medições vêm desde a antiguidade, um exemplo ocorreu com o físico Galileu que em seu experimento (o termoscópio) obteve resultados bem próximos do esperado, todavia os resultados eram facilmente interferidos pela pressão atmosférica.

Por séculos, durante a construção de vários instrumentos termométricos, havia alguns problemas que interferiam em um resultado fixo e confiável. Um dos instrumentos que veio para mudar esse cenário foi o termômetro de mercúrio. Idealizado por Fahrenheit em 1714, o termômetro de mercúrio foi e ainda é utilizado por muitos e dependendo da sua finalidade tem um alto poder de precisão. Contudo, ele tem suas limitações e a partir daí foram idealizados outros termômetros (vistos com detalhes nos capítulos anteriores), até chegar nos termômetros digitais.

#### 4.2 – PADRONIZAÇÃO

O avanço das tecnologias ocasionou numa busca maior pela exatidão, a exatidão está relacionada com valores padrões que podemos definir para algumas grandezas. Neste caso, para a temperatura foram feitos comitês para essa padronização. A ITS-90 surge para dar um padrão aos instrumentos de temperatura e atualmente esta permanece sendo a recomendada e veio para substituir a ITS-1976.[9]

A Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90) define as Temperaturas Kelvin Internacionais, com o símbolo T-90, e as Temperaturas Celsius Internacionais. A relação entre T-90 e T-90 é a mesma que entre T e t isto é,  $T-90 / ^\circ\text{C} = T90 / \text{K} - 273,15$ . A ITS-90 estende-se desde 0,65 K até à mais elevada temperatura mensurável em termos da lei da radiação de Planck

usando radiação monocromática. Entre 0,65 K e 5,0 K T-90 é definida em termos das relações entre temperatura e pressão de vapor do  $^3\text{He}$  e do  $^4\text{He}$ . Entre 3,0 K e o ponto triplo do néon (24,5561 K) T-90 é definida por meio de um termómetro de gás, de hélio, calibrado em três temperaturas realizáveis experimentalmente, às quais foram atribuídos valores numéricos (pontos fixos definidores) e usando procedimentos de interpolação especificados. Entre o ponto triplo do hidrogênio em equilíbrio (13,8033 K) e o ponto de fusão da prata (961,78 °C) T-90 é definida por meio de termômetros de resistência de platina calibrados em conjuntos especificados de pontos fixos definidores e usando procedimentos de interpolação especificados. Acima do ponto de congelação da prata (961,78 °C) T-90 é definida em termos de um ponto fixo definidor e da lei da radiação de Planck.[9]

A temperatura mais baixa coberta pelo ITS-90 é de 0,65 K. Em 2000, a escala de temperatura foi estendida ainda mais, para 0,9 mK, pela adoção de uma escala suplementar, conhecida como Escala provisória de baixa temperatura de 2000 (PLTS-2000).[9]

Em 2019, o Kelvin foi redefinido, contudo a alteração foi muito baixa em relação com as incertezas do ITS-90, e assim o ITS-90 permaneceu sendo a escala de temperatura prática recomendada sem quaisquer alterações significativas.[9]

### **4.3 – TERMÔMETRO DIGITAL**

O termómetro digital utiliza o princípio de funcionamento baseado em sensores elétricos como termopares, termômetros de resistência e termistores (resistores que apresentam grande variação da resistência em função da variação da temperatura), além da radiação infravermelha. Vimos então que termómetro digital utiliza algumas grandezas termométricas e sendo estas as mais utilizadas e mais confiáveis, então nesse caso, generalizamos para “termômetros digitais” os instrumentos mais precisos para medir a temperatura, obviamente, que cada um tem sua especificidade dependendo da finalidade do uso de cada termómetro.

A resposta desses sensores à temperatura é uma função não linear. Para converter a resposta do sensor em um sinal elétrico linearmente

relacionado à temperatura é preciso alguma forma de linearização (segmentada, analógica e microprocessada, a mais precisa). Tendo em vista a sua finalidade, estes termômetros podem ser simples, de baixo custo, ou de grande complexidade e onerosos como, por exemplo, os modelos utilizados nas pesquisas a temperaturas abaixo de 0,01 K.[10]

Na medicina, o termômetro digital demonstra precisão da ordem de um décimo de grau e solicita apenas em torno de um décimo do tempo necessário para assumir a temperatura do paciente em relação ao termômetro clínico tradicional.[5]

## CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho foi demonstrar a evolução/criação dos termômetros e também envolver o leitor na história da termometria, mostrando os fatos importantes deste instrumento que hoje é de suma importância em nossas vidas.

Desde a criação do termoscópio até os precisos termômetros digitais percebemos que este instrumento é de muita importância para a sociedade, pois relaciona diversas disciplinas como física, química e biologia, dentre outros ramos de estudo. Devido a evolução da sociedade e a partir daí necessitou o aprimoramento dos medidores de temperatura, visto que diversos setores dependem destes instrumentos, logo garantir uma eficácia e segurança nos processos realizados foi fundamental.

Esperamos, com isso, ter atingido o objetivo de apresentar um apanhado geral da história do desenvolvimento dos termômetros, que pode ser utilizado, por exemplo, em sala de aula como instrumento lúdico para a introdução de importantes conceitos da física térmica a estudantes do ensino médio. Vimos como essa história é um importantíssimo recorte da própria história do desenvolvimento da Termodinâmica, além de ser um tema transversal, uma vez que se conecta com outras ciências, como a Química e a Medicina.

## REFERÊNCIAS

[1] CABRAL, Paulo. Breve história da medição de temperaturas. Disponível em: <https://www.metroquality.com.br/pastas/artigo/OID3078712/HistoriaMedicaoTemperatura.pdf>. Acessado em 21 de maio de 2021.

[2] Chas. R. Darling - Pyrometry - a practical treatise on the measurement of high temperatures.

[3] Disponível em: <https://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/05/20457.pdf>. Acessado em 2 de maio de 2021.

[4] Disponível em: <https://docplayer.com.br/62164645-Termologia-historia-breve-da-termologia.html>. Acessado em 20 de maio de 2021.

[5] Disponível em: <https://super.abril.com.br/historia/o-termometro/>. Acessado em 16 de abril 2021.

[6] Disponível em: <https://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/05/20457.pdf>. Acessado em 23 de abril de 2021.

[7] Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~leila/termo.htm>. Acessado 13 de maio de 2021.

[8] Halliday David e Krane Kenneth S.. Física 2, Quinta edição. Editora LTC. Gaspar Alberto. Física Série Brasil, 1.<sup>a</sup> edição. Editora Ática.

[9] MAILLO, Santiago Velasco; PINEDA, Cristóbal Fernández. Um paseo por la historia de la termometría, Spanish Royal Physical Society (SREF), 2005.

[10] PIRES, Denise P. L.<sup>I</sup>; AFONSO, Júlio C.<sup>II</sup>; CHAVES, Francisco A. B.<sup>III</sup>. A termometria nos séculos XIX e XX. Scielo.com.br. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172006000100013](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172006000100013). Acessado em 20 de abril de 2021.

[11] Ronan, Colin A. (1987). *História Ilustrada da Ciência da Universidade de Cambridge: da Renascença à Revolução Científica*. 3. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor. p. 115. ISBN 85-85061-68-5

[12] SALOMÓN, Susana E.<sup>I</sup>; MIATELLO, Roberto M.<sup>II</sup>. El termómetro: historia de uno de los instrumentos básicos de la práctica médica cotidiana. Revista médica universitaria, Mendoza - Argentina, Vol. 6, 1-8, 2010.