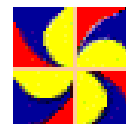




CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br



Sócrates e a Evolução do Conceito de Temperatura e Sua Medida (Termometria).

No diálogo **Fédon** (*Φαίδων*) escrito pelo filósofo grego Platão de Atenas (c.428-c.347) ele descreve a conversa que o filósofo grego Sócrates de Atenas (469-399) teve com alguns de seus discípulos [dentre eles: Cebes (*Κέβης*), Críton (*Κρίτων*), Fédon (*Φαίδων*) e Símiias (*Σιμμίας*)] no dia de sua morte. Em um diálogo com Cebes, sobre a imortalidade da alma, Sócrates diz-lhe: - *De fato, se me perguntasses: “Que precisa haver no corpo para que ele fique quente?” não te daria a resposta certa, sem dúvida, mas ingênua, que é o calor, porém outra muito mais apropriada, com base em nossa exposição anterior: fogo. Como também se me perguntasses o que precisa haver no corpo para que ele adoença, não responderia que é a doença, porém alguma febre.* Mais adiante, Sócrates prossegue: - *E se o não quente também fosse por necessidade indestrutível, sempre que alguém aproximasse da neve o fogo, não se retiraria a neve intacta e sem derreter-se? Não pereceria, é claro, e por mais que ficasse exposta ao calor, não o receberia? - É muito certo,* respondeu Cebes. E Sócrates continua: - *Como também, segundo penso, se o não frio fosse indestrutível por natureza, e alguém aproximasse do fogo o frio, jamais o fogo se apagaria ou viria a fenececer, porém afastar-se-ia incólume. - Necessariamente,* acrescenta Cebes. Sócrates prossegue: - *E não será também preciso falarmos nesses mesmos termos no que entende com o mortal? Se o imortal também for imperecível, a alma, sempre que a morte se aproximar dela, não poderá morrer; pois, de acordo com que dissemos antes, ela não admitirá a morte nem virá a morrer, da mesma forma que o três, conforme vimos, nunca poderá ser par, e com ele o ímpar, nem o fogo ficará frio nem o calor que há no fogo.* E o Diálogo continua. [Platão, (**ΦΑΙΔΩΝ/FÉDON**), Tradução de Carlos Alberto Nunes, EdUFPA, 2011, p. 181/183/185/187)].

Nosso objetivo neste verbete é o de mostrar quanto tempo levou, desde Sócrates, para se entender o **frio** e o **quente**. Esse entendimento está relacionado com a evolução do conceito de **temperatura** e sua medida (**termometria**). Portanto, vejamos como ela ocorreu.

Segundo a Mitologia Grega, Prometeu criou o **Homo** (“Homem”) do limo da terra e animou-o com o **“fogo do céu”** roubado aos Deuses. Em vista disso, ele foi punido por esses Deuses colocando-o preso em um alto penhasco, no monte Cáucaso, onde uma águia, filha de Tifon e de Equidna devia devorar-lhe lentamente o fígado. Registre-se que Prometeu (significa, em grego, *previdente* – o **Deus do Fogo**) era filho do titã Japeto e da oceânida Climene (ou da Nereida Ásia, ou ainda de Temis, irmã

mais velha de Saturno) e irmão de Atlas. [Pierre Commelin, **Mitologia Grega e Romana** (Ediouro, s/d).]

Parece que esse mesmo **Homo**, agora como **Homo Erectus** (“Homem de Pequim”), que habitou as cavernas há cerca de 500.000 anos, foi quem primeiro utilizou o **fogo** para esquentá-lo quando sentia frio, e para orientá-lo em suas caminhadas na escuridão. Mais tarde, o **Homem** foi dominando o **fogo**, quer para protegê-lo dos animais, quer para cozer seus alimentos. Apesar desse domínio do **fogo**, o Homem não entendia a razão pela qual tanto o calor do Sol, quanto o calor de uma fogueira, lhe provocava sensações de quentura. E, mais ainda, ele não conseguia entender como sentia essa sensação sem tocar na fonte e, também, não conseguia distinguir entre a **quantidade** desse calor e a sua **qualidade** (intensidade). Contudo, na medida em que o **Homo** e seus evolutivos (p.e.: **Homo Sapiens Sapiens**, a partir daqui representado por **Homem** e que surgiu há cerca de 50.000 anos) foram descobrindo com o **fogo**, o ponto de fusão dos metais e cozendo as cerâmicas, passou, assim, a construir utensílios e armas, a edificar cidades, dando então seguimento às diversas revoluções civilizatórias historicamente definidas. Apesar desse domínio do **fogo**, o **Homem** não fazia distinção entre a **qualidade** [hoje, **temperatura** (T)] e a **quantidade** [hoje, **quantidade de calor** ou simplesmente, **calor** (Q)] dessas sensações térmicas que experimentava. Por exemplo, ele não entendia porque tinha a mesma sensação fisiológica de “quentura”, tocando em ferro (Fe) quente ou em água congelada, assim como o calor do Sol, quanto o calor de uma fogueira, lhe provocava também sensações de “quentura”. [Darcy Ribeiro, **O Processo Civilizatório** (Vozes, 1978); Jacob Bronowski, **A Escalada do Homem** (Martins Fontes/EdUnB, 1979)].

Agora, vejamos como o **Homem** começou a entender o **fogo**. Na busca de um elemento essencial (**arché**) da Natureza, os filósofos gregos pré-socráticos tinham opiniões diferentes. Assim, Tales de Mileto (624-546) acreditava que esse elemento seria a **água**, enquanto Anaxímenes de Mileto (c.570-c.500) considerava ser o **ar**. Por outro lado, Xenófanes de Colofonte (c.570-c.460) achava ser a **terra**, diferentemente de Heráclito de Éfeso (c.540-c.480), que afirmava ser o **fogo** a essência da Natureza. No entanto, para Empédocles de Agrigento (atual Agrigento) (c.490-c.430), esses **quatro elementos** é que seriam os elementos naturais, uma vez que a combinação adequada deles é que formaria todas as coisas da Natureza. Para Platão (c.428-c.347), defensor da concepção quaternária da Natureza, o **fogo** se relacionava com o tetraedro, um dos cinco poliedros regulares propostos por Pitágoras de Samos (c.560-c.480). Para o filósofo grego Aristóteles de Estagira (384-322) os quatro elementos fundamentais da Natureza (**essenciais**), eram: **frio** (**tò psycrón**), **quente** (**tò thérmon**), **úmido** (**tò hygrón**) e **seco** (**tò xerón**). Por sua vez, para os atomistas Demócrito de Abdera (c.470-c.380) e Leucipo de Mileto (c.460-c.370), o **fogo** era constituído de átomos esféricos.

Assim como os gregos antigos, os chineses e os hindus também procuraram explicar o **fogo**. Com efeito, para o filósofo chinês Zou Yan (360-c.260), o **fogo**, juntamente com a **água**, a **terra**, a **madeira** e o **metal**, se constituíam nos elementos fundamentais do Universo. No entanto, esses elementos não eram considerados como meras substâncias, já que eram governados pelo dualismo básico dos princípios cósmicos do **yin** (terra, fêmea, passivo, absorvente) e do **yang** (céu, macho, ativo, penetrante). Por outro lado, os filósofos hindus acreditavam que os elementos primordiais do Universo eram manifestações da alma (**atman**) ou essência desse mesmo Universo. Assim é que, para esses filósofos, o **fogo** era um dos cinco **elementos-manifestações** que se ligavam aos sentidos da seguinte maneira: **éter**-audição, **ar**-tato, **água**-paladar, **terra**-olfato e **fogo**-visão.

Foi ainda na Grécia Antiga que foram inventados os primeiros dispositivos para medir as nuances de elevação ou diminuição de temperatura: muito quente, pouco quente, muito frio e pouco frio. Por exemplo, o próprio Empédocles, e os engenheiros gregos Philon de Bizâncio (c.300 a.C. - ?) e Heron de Alexandria (20 d.C. - ?) foram os primeiros a descrever um aparelho rudimentar que permitia relacionar a expansão do ar com a elevação de **temperatura**.

Contudo, foi somente a partir do Século 17 de nossa Era Cristã (d.C.) é que o **Homem** desenvolveu instrumentos cada vez mais precisos para medir as duas características do calor, instrumentos esses hoje conhecidos, respectivamente, como **termômetros** e **calorímetros**. Como o objetivo deste artigo relaciona-se com a **medição da temperatura**, trataremos a seguir apenas dos **termômetros**. Assim, parece haver sido o médico alemão Johannis Hasler (1548-?), em seu livro intitulado **De Logistica Medica** ("Sobre a Logística Médica"), publicado em 1578, o primeiro a apresentar uma **escala termométrica rudimentar** que mostrava a relação entre a temperatura do homem e o local onde habita. Segundo essa escala, nos trópicos a temperatura do corpo humano é maior do que nas zonas frias. Por outro lado, a medição da variação da **temperatura** de um corpo foi retomada pelo astrônomo e físico italiano Galileu Galilei (1564-1642) quando trabalhava na *Universidade de Pádua*, por volta de 1593 (ou 1597). Era um simples reservatório de vidro, do tamanho de um pequeno ovo (bulbo), adaptado na extremidade de um tubo de vidro com ~ 56 cm de comprimento. Ao inseri-lo em um copo com água, apertou o bulbo com a mão para transmitir calor e percebeu que, ao retirar a mão, a água subia no tubo em um palmo de altura. Mais tarde, em 1611, ele melhorou esse seu invento, substituindo a água por *espírito de vinho*, produto da destilação do vinho e constituído principalmente de álcool. [James Reston, Jr., **Galileu: Uma Vida** (Editora José Olympio, 1995)].

Esse dispositivo de Galileu [mais tarde, em 1617, denominado de **termoscópio** (do grego **thérme** – calor e **skopein** – observar)], embora apresentando limitações (p.e.: era influenciado pela pressão do ar e não permitia obter valores

numéricos da variação de temperatura), foi melhorado, ainda em 1611, pelo médico italiano Santorio Santorio (Sanctorius Santori da Capodistria) (1561-1636), ao adaptar no mesmo uma **escala termométrica rudimentar**. Inicialmente, registrou os níveis que a coluna de água do tubo atingia quando em contato com o gelo fundido e a chama de uma vela; em seguida dividiu o intervalo correspondente em 110 partes. Por haver usado esse dispositivo para medir a temperatura de seus pacientes, Santorio Santorio é considerado como o inventor do **termoscópio clínico**. É interessante registrar que, por volta de 1626, o jesuíta francês Jean Leurechon (1591-1670) publicou um trabalho intitulado **Recréation Mathématique** (“Recreação Matemática”), com o pseudônimo de H. van Etthen, no qual usou pela primeira vez o termo **termômetro**. Também, em 1626, o médico inglês Robert Fludd (1574-1637) introduziu melhoramentos no **termoscópio clínico** para usá-lo em Medicina. Uma inovação no **termoscópio galileano** (TG) foi realizada pelo químico e médico francês Jean Rey (1582-1632), em 1630, ao considerar a água como **substância termométrica** (ST), ao invés do ar, como acontecia no TG. Rey tomou um frasco com um bulbo e uma haste longa e delgada, na qual colocou água. As mudanças de temperatura eram meramente observadas em virtude da variação do nível da água na haste. Note que, com esse simples instrumento, Rey descobriu que o estanho (Sn) e o chumbo (Pb) quentes, mudavam sua massa quando em contato com o ar. [A. Kistner, **História de la Física** (Editora Labor, S. A., 1934); D. Roller, **The Early Development of the Concepts of Temperature and Heat** (Harvard University Press, 1950); W. E. K. Middleton, **A History of the Thermometer and Its use in Meteorology** (The Johns Hopkins Press, 1966)].

Como os TG tinham contato direto com o ar, a sensibilidade de suas medidas variava com a **pressão atmosférica**, que fora medida pelo físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647), em 1643. Essa dificuldade foi contornada pelo soberano italiano Fernando II de Toscana (1610-1670), por volta de 1644, ao construir um **termômetro** do tipo inventado por Rey, porém, a extremidade da haste longa era hermeticamente fechada. Outra inovação considerada por ele foi a de considerar o álcool como ST, pois seu ponto de congelamento é mais baixo do que o da água. O desenvolvimento da construção dos **termômetros**, foi incrementado com a fundação em Florença, em 1657, da *Accademia del Cimento* (“Academia das Experiências”), por dois discípulos de Galileu, os físicos italianos Vincenzo Viviani (1622-1703) e Torricelli.

O desenvolvimento referido acima, contudo, necessitava do uso de **escalas termométricas** (ET). A ideia de adotar um ponto fixo como **zero** para uma ET, foi independentemente proposta, em 1665, pelos físicos ingleses Robert Boyle (1627-1691) (também químico) e Robert Hooke (1635-1703), e pelo astrônomo e físico holandês Christiaan Huygens (1629-1695), respectivamente: o ponto de fusão do óleo de anis; o ponto de fusão do gelo; e ou a fusão do gelo ou a ebulição da água. Mais tarde, em 1669, o jesuíta e matemático francês Honoré (Honoratus) Fabri (Fabrius) (1607-1688) concebeu a ideia de adotar dois pontos fixos em uma **escala**

termométrica. Para o seu ponto mais baixo, escolheu a temperatura de fusão do gelo; e para o ponto mais alto, admitiu ser a *temperatura mais alta do verão francês*. Uma nova ET foi proposta, em 1688, pelo astrônomo e físico francês Joachim Dalencé (1640-1707), no livro **Traitez des Baromètres, Thermomètres et Notiomètres, ou Hygromètres** (“Tratado dos Barômetros, Termômetros e Nociômetros, ou Higrômetros”), no qual escolheu como pontos fixos para uma ET, as temperaturas de fusão do gelo (-10^0) e da manteiga ($+10^0$), sendo o intervalo dividido em 20 partes iguais. Em 1693 (*Philosophical Transactions* **17**, p. 652), o astrônomo inglês Edmund Halley (1656-1742) registrou a observação que fizera, em 1688, sobre a expansão térmica dos líquidos. Em 1694, o físico italiano Carlos Renaldini (1615-1698) substituiu o ponto de fusão da manteiga pelo da ebulição da água.

A escolha de pontos fixos de uma ET também foi objeto de estudo no Século 18. Logo em 1701 (*Philosophical Transactions, Abridged II*, p. 824), o físico e matemático inglês Sir Isaac Newton (1642-1727) publicou um artigo no qual apresentou uma escala com vários valores, dos quais se destacam: 0^0 - o grau do calor do ar no inverno no qual a água começa a congelar; 12^0 - o grau do calor do corpo humano; e 192^0 - o grau do calor do *carvão betuminoso de uma pequena cozinha soprado por um fole*. Para construir essa escala, Newton utilizou um **termômetro** e um pedaço de ferro quente. [Ver excerto desse artigo em: William Francis Magie, **A Source Book in Physics** (McGraw-Hill Book Company, Inc., 1935)]. Em 18 de junho de 1702, nas *Histoires de l'Académie Royale des Sciences avec les Mémoires de Mathématiques et de Physique (Paris)*, p. 155, o físico francês Guillaume Amontons (1663-1705) publicou um trabalho no qual descreveu a construção do primeiro **termômetro a ar** que havia construído em 1699. Com esse instrumento, mostrou que a água sempre fervia na mesma temperatura, e que cada gás mudava igualmente de volume para uma variação de temperatura. Ainda nesse trabalho, Amontons apresentou a ideia do **zero absoluto** como um estado de repouso absoluto já que, sendo a elasticidade (pressão) do ar proporcional ao seu conteúdo de calor, na situação de pressão nula haveria um **zero absoluto de calor**, isto é, de temperatura, concluiu Amontons. [Kurt Mendelssohn, **Em Demanda do Zero Absoluto** (Editorial Inova Limitada, ~1968); Magie, op. cit.].

Ainda em 1702, o astrônomo dinamarquês Olaus (Ole) Römer (1644-1710), escolheu a seguinte ET para seu **termômetro a álcool**: 60^0 - ponto de ebulição da água; $7,5^0$ - ponto de fusão do gelo; em 1708, ele trocou este valor para 8^0 . Em 1708, o físico germano-holandês Gabriel Daniel Fahrenheit (1686-1736) visitou Römer e, ao conhecer seu trabalho sobre **termometria**, passou a se interessar pelo mesmo. Desse modo, em 1714, Fahrenheit adotou a seguinte ET para seu **termômetro a álcool** construído em 1709: 0^0 - correspondente ao valor da temperatura na qual uma mistura de gelo e sal (amoníaco ou do mar) se funde (correspondente à temperatura mais baixa até então registrada na cidade de Dantzig, onde nasceu, e ocorrida em

1709); 96° – correspondente à temperatura do corpo humano. Porém, como o mercúrio (Hg) adería às paredes dos estreitos tubos termométricos, a ST mais utilizada na época de Fahrenheit era o álcool puro ou misturado com a água. Contudo, com a descoberta de um novo método de depurar o Hg que impedia sua aderência nos tubos capilares, Fahrenheit construiu, em 1718, um **termômetro a mercúrio** que lhe permitia registrar temperaturas muito acima do ponto de ebulição da água e muito abaixo de seu ponto de fusão. Por outro lado, como o Hg apresentava um coeficiente de expansão térmica praticamente constante, então esse seu **termômetro** podia ser graduado externamente com muita maior precisão por intermédio de subdivisões finas. Isso lhe permitiu, em 1724 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **33**, p. 1), a propor novos pontos fixos: 32° – fusão do gelo; 212° – ebulição da água, constituindo a conhecida **escala Fahrenheit**. [Armand Gibert, **Origens Históricas da Física Moderna** (Fundação Calouste Gulbenkian, 19872); Magie, op. cit.].

Também na primeira metade do Século 18, apareceram duas outras ET. Com efeito, em 1730, nas *Histoires de l'Académie Royale des Sciences avec les Mémoires de Mathématiques et de Physique (Paris)*, p. 452, o físico francês René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757) apresentou sua ET, escolhendo como 0° o ponto de fusão do gelo. Por outro lado, para o intervalo de 1° de sua escala, Réaumur o considerou como sendo a milésima parte do volume ocupado pelo fluido termométrico na temperatura de 0° . Porém, como este fluido era álcool diluído em água, o mesmo começou a entrar em ebulição na temperatura de 80° , razão pela qual admitiu ser essa a temperatura de ebulição da água, surgindo então a **escala Réaumur**. Em 1742 (*Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar* **3**, p. 171), o astrônomo sueco Anders Celsius (1701-1744) adotou, inicialmente, o ponto de fusão do gelo como sendo 100° e a ebulição da água como 0° . Contudo, em 1743, o botânico sueco Carl von Linné (Carolus Linnaeus) (1707-1778) inverteu essa escala – a hoje conhecida **escala Celsius** (nome adotado em 1948, na *9ª Conferência Nacional de Pesos e Medidas*) ou **escala centígrada** (EC) (dividida em 100 partes), bem como, em 1745, introduziu as notações $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{R}$ e $^{\circ}\text{F}$. Note-se que a EC, já havia sido sugerida pelo físico sueco Pierre Elfwius (Elvius), em 1710 e, também, pelo físico francês Christian de Lyons, em 1743. É interessante observar que, em 1772, o físico suíço Jean-André Deluc (1727-1817), registrou em seu livro **Recherches sur les Modifications de Atmosphère** (“Pesquisas sobre as Modificações da Atmosfera”), cerca de 60 ET diferentes. Para maiores detalhes sobre as escolhas das ET e as polêmicas delas decorrentes, ver: Roller, op. cit. e Middleton, op. cit.

Ainda na segunda metade do Século 18, começaram a serem construídos **termômetros** que registrassem os valores máximos e/ou mínimos da temperatura em um dado intervalo de tempo, segundo uma proposta apresentada pelo matemático suíço John (Johann, Jean) Bernoulli (1667-1748), em carta que escreveu, em 1698, ao também matemático alemão Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). O primeiro

termômetro de máxima e mínima foi inventado, em 1780, pelo físico inglês James Six (1731-1793) e descrito, em 1782 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **72**, p. 72), como sendo um tubo recurvado em forma de U, contendo álcool e Hg e um índice de ferro (Fe) esmaltado para indicar a temperatura, índice esse que era colocado em contato com a coluna de Hg por intermédio de um ímã. Quando o Hg dilatava, empurrava o índice, e quando se contraía, o álcool passava pelo índice deixando-o no mesmo lugar. Assim, ficavam registradas as temperaturas máximas e mínimas.

Também em 1782 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **72**, p. 305), o químico e industrial inglês Josiah Wedgwood (1730-1795) descreveu a invenção do primeiro **pirômetro** (mais tarde conhecido como **termômetro de radiação**, em decorrência da **Lei da Radiação Térmica de Stefan-Boltzman**, conforme veremos mais adiante), com o objetivo de medir altos graus de temperaturas (acima de 500 °C), baseado na contração de uma pastilha de argila quando aquecida. Registre-se que, em 1783 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **73**, p. 247), em 1784 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **74**, p. 358) e em 1786 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **76**, p. 390) Wedgwood descreveu novas experiências realizadas com o **pirômetro de argila** que havia inventado em 1782, e procurou relacionar esses resultados e os obtidos com um **termômetro de mercúrio**. É interessante registrar que o estadista e cientista norte-americano Benjamin Franklin (1706-1790), em 1785, inventou um **termômetro especial** para medir temperaturas abaixo da superfície terrestre, numa profundidade de cerca de 100 pés (~ 30 m). Dez anos antes, em 1775, Franklin havia usado o **termômetro** como um instrumento de navegação, ao medir a temperatura da superfície do Oceano Atlântico, sempre que o atravessava em suas viagens marítimas para a Europa.

Mais tarde, em 1794 (*Transactions of Royal Society, Edinburgh* **3**, p. 247), o químico escocês Daniel Rutherford (1749-1819) descreveu um outro tipo de **termômetro de máxima e mínima**. Porém, esse dispositivo era diferente do de Six, já que era composto de dois **termômetros** horizontais e independentes, um de Hg, para registrar as temperaturas máximas, e o outro de álcool para marcar as temperaturas mínimas. As máximas eram indicadas devido ao rompimento da coluna de Hg quando este se resfriava, e as mínimas eram marcadas por deslocamento da coluna de álcool para um pequeno cilindro de metal (que servia de índice), quando a temperatura se elevava.

No Século 19, continuaram os trabalhos sobre o desenvolvimento da Termometria. Assim, logo em 1804 [*Nuova scelta di opuscoli interessanti sulle scienze e sulle arti* – Tomo IV], o físico e químico italiano Angelo Bellani (1776-1852) descreveu um dispositivo que ele denominou de **termógrafo**, semelhante ao de Six, que servia

para medir temperaturas máximas e mínimas. Como Bellani, mais tarde, em 1811 (*Giornali di fisica, chimica e storia naturale* – Tomo IV), voltou a introduzir melhoramentos em seu **termógrafo**, este ficou então conhecido como **termômetro de máxima e mínima de Six-Bellani**. [Giorgio Pedrocchi, *IN: Dictionary of Scientific Biography* (Charles Scribner Sons, 1981)]. Em 1813, o físico e matemático escocês Sir John Leslie (1766-1832) publicou o livro intitulado **A Short Account of Experiments and Instruments Depending on the Relations of Air to Heat and Moisture** (“Um Pequeno Relato sobre Experiências e Instrumentos Dependendo das Relações do Ar com Calor e Umidade”), no qual descreveu a invenção de um **termômetro de líquido** com o objetivo de medir a diferença de temperatura, conhecido como **termômetro diferencial**. Basicamente, ele era constituído por um tubo recurvado em U, em ângulos retos, terminados em duas ampolas, cheio com ácido sulfúrico (H_2SO_4) corado de vermelho e completado com ar. A diferença de temperatura entre dois corpos era medida pelo desnível da coluna de H_2SO_4 nos dois ramos do **termômetro**, quando os corpos eram colocados em contato com as ampolas.

Em 1848 (*Proceedings of Cambridge Philosophical Society* **1**, p. 66; *Philosophical Magazine* **33**, p. 313), o físico inglês William Thomson (Lord Kelvin de Largs) (1824-1907) apresentou a proposta de uma **escala absoluta** de temperatura, conforme suas próprias palavras (Magie, op. cit.):

A propriedade característica da escala que ora proponho é a de que todos os graus têm o mesmo valor; isto é, a unidade de calor que desce de um corpo A na temperatura T^0 desta escala para um corpo B na temperatura $(T - 1)^0$, dará o mesmo efeito mecânico, qualquer que seja o número T. Isso pode ser justamente denominado uma escala absoluta, visto que sua característica é inteiramente independente das propriedades físicas de qualquer substância específica.

Um novo tipo de termômetro, o **termômetro de máxima**, foi inventado pelo médico escocês Sir William Aitken (1825-1892), em 1852, ao estrangular a coluna de Hg impedindo que a mesma baixasse com a diminuição de temperatura. Mais tarde, em 1864, o físico alemão Johann Heinrich Wilhelm Geissler (1814-1879) – que inventara, em 1855, a primeira bomba de vácuo sem partes móveis – construiu um **termômetro de máxima**. Usando esse tipo de **termômetro**, o físico inglês Sir Thomas Clifford Allbutt (1836-1925) apresentou, em 1867, o hoje conhecido **termômetro clínico** (TC). Logo depois, em 1868, o médico alemão Carl Reinhold August Wunderlich (1815-1877) publicou o livro intitulado **Das Verhalten der Eigenwärme in Krankheiten** (“Sobre a Conduta da Temperatura nas Doenças”), no qual registrou suas observações do uso do TC em cerca de 25.000 doentes, do *Hospital da Universidade de Leipzig*, em que trabalhava. Dessas observações, ele chegou a dois importantes resultados para a Medicina: 1) a temperatura média normal do corpo humano é em torno de $37^{\circ}C$ ($98,6^{\circ}F$) ($36,3 - 37,5^{\circ}C$); 2) a febre era o sintoma de uma doença, e não propriamente uma

doença. Note-se que para o TC ser usado novamente, depois de registrar a temperatura máxima de um paciente, o mesmo é agitado, circularmente, para que a força centrípeta decorrente dessa agitação faça a coluna de Hg baixar.

A noção de **temperatura absoluta** proposta por Kelvin, em 1848, conforme vimos acima, foi imediatamente aceita porque era conveniente para o estudo da Engenharia Térmica, baseada na Termodinâmica. Em vista disso, o engenheiro e físico escocês William John Macquorn Rankine (1820-1872) apresentou em seu livro **Manual of the Steam Engine and Other Prime Movers** (“Manual da Máquina a Vapor e Outras Forças Motrizes”), impresso em 1859, uma nova **escala termométrica** – hoje a **escala Rankine** ($^{\circ}\text{Ra}$) -, na qual o grau tinha o mesmo tamanho do $^{\circ}\text{F}$, o que dava para o **zero absoluto** (= - 273,16 $^{\circ}\text{C}$) o valor de: - 459,67 $^{\circ}\text{F}$. É interessante notar que, em 1967, por ocasião da 13^ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, foi adotado o símbolo K para representar o **grau Kelvin**.

Até as primeiras décadas do Século 19, os **termômetros** apresentavam como **substância termométrica** (ST), basicamente, líquidos (como vimos acima) e gases que, normalmente, se expandem com o aumento da temperatura e, portanto, o volume ou a pressão deles era usado para medir a variação da temperatura (sobre o **termômetro a gás**, ver: Middleton, op. cit. e Roller, op. cit.). No entanto, no decorrer daquele Século, os sólidos também passaram a ser utilizados como **termômetros** e uma série de propriedades dos mesmos foi relacionada com a temperatura, constituindo-se nas propriedades termométricas necessárias para servir como ET. Dentre tais propriedades, destacam-se a força eletromotriz, a resistência elétrica e a radiação térmica. Vejamos alguns exemplos desses tipos de **termômetros**. Com efeito, o físico russo-alemão Thomas Johann Seebeck (1770-1831), em trabalhos realizados em 1821, 1822 e 1823 [*Abhandlung Berliner Akademie* 10 (1822-1823), p. 265; *Annalen der Physik* 73 (1823), p. 115; 430] descobriu que existia uma corrente elétrica quando dois diferentes tipos de metais são soldados nas extremidades e estas são submetidas a um gradiente de temperatura. Note que essa descoberta ficou conhecida como **efeito Seebeck** ou **efeito termoelétrico**. Mais tarde, em 1840 e 1842, o físico alemão Wilhelm Gottlieb Hankel (1814-1899) mostrou que a corrente elétrica observada por Seebeck era devido a uma **força eletromotriz termoelétrica** (ϵ); tal afirmação foi confirmada por Kelvin, em 1855. Em vista dessa propriedade, foram construídos **termômetros** formados por pares de metais – os chamados **termopares** – cuja temperatura absoluta T era determinada pela seguinte expressão: $\epsilon = a T^0 + b T^1 + c T^2 + d T^3$, onde as constantes a, b, c, d dependem do material de cada **termopar**. Registre que o intervalo de temperatura desse tipo de **termômetro** decorre do par metálico utilizado. Assim, para o par platina-ródio [Pt (90%)-Rh (10%)], o intervalo é de: -50 $^{\circ}\text{C}$ + 1.600 $^{\circ}\text{C}$. É oportuno observar que uma das vantagens do **termopar** é a de que ele atinge rapidamente o equilíbrio térmico com o sistema cuja temperatura se deseja

determinar, por ser sua massa muito pequena. [Mark W. Zemansky, **Heat and Thermodynamics** (McGraw-Hill Book Company, Inc., 1957)].

Muito embora o químico inglês Sir Humphry Davy (1778-1829), em 1821 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **91**, p. 431) haja observado que a resistência elétrica (R) dos metais variava com a temperatura [R(t)], foi somente, em 1871 (*Proceedings of the Royal Society of London* **19**, p. 443), que o inventor germano-inglês Sir William (Karl Wilhelm) Siemens (1823-1883) construiu o **termômetro metálico de resistência elétrica**, usando a Pt como ST. O uso desse metal decorreu do fato de que ele apresentava grande estabilidade e precisão na medida da temperatura, conforme o físico inglês Hugh Longbourne Callender (1863-1930), mostrou no **termômetro** desse mesmo tipo que construiu em 1886 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **178A**, p. 161). Registre que o **termômetro de platina de resistência elétrica** pode ser usado no intervalo: $-200\text{ }^{\circ}\text{C} + 1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo sua calibração é dada pela fórmula: $R_{Pt}(t) = R_0 (1 + A t + B t^2)$, onde R_0 é a resistência do fio de platina em contato com o gelo fundente, A e B são constantes determinadas em dadas temperaturas fixas [p.e.: ebulição da água (H₂O) ou do oxigênio (O); fusão do zinco (Zn), prata (Ag), ouro (Au) etc.]. No entanto, como a Pt é muito cara, outros metais também foram utilizados como **termômetro metálico de resistência elétrica**, principalmente o cobre (Cu) e o níquel (Ni). Porém, com os respectivos limites máximos de temperatura, menores do que $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Zemansky, op. cit.).

Voltemos a Pt como ST e aos **termômetros de radiação térmica**. Em 1851, o físico sueco Adolf Ferdinand Svanberg (1806-1857) inventou o **bolômetro**, um tipo de **termômetro** para medir a radiação térmica. Ele se constitui, basicamente, em um fio de Pt colocado em um dos braços de uma **ponte de Wheastone** [dispositivo prático para medir a resistência elétrica de um condutor, inventado pelo físico inglês Sir Charles Wheastone (1802-1875), em 1843 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **184**, p. 303)]. Quando uma dada radiação térmica atingia o fio de Pt, havia uma mudança no valor de sua resistência e a intensidade da radiação (I) (energia por unidade de área e por unidade de tempo) era então calculada. Em 1859 (*Monatsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* **662**, p. 783), o físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) enunciou que I depende do comprimento de onda (λ) da radiação e da temperatura absoluta (T), ou seja: $I(\lambda, T)$. Conforme vimos em verbete desta série, em 1879 (*Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien* **79**, p. 391) e em 1884 (*Annalen der Physik* **22**, p. 31; 291), respectivamente, os físicos austríacos, Josef Stefan (1835-1893) e Ludwig Edward Boltzmann (1844-1906), demonstraram que: $I(\lambda, T) = \sigma T^4$, sendo σ a **constante de Stefan-Boltzmann**. Assim, de posse dessa **lei de Stefan-Boltzmann** foi possível explicar os **pirômetros** inventados por Wedgwood, em 1782, conforme

dissemos acima. Além disso, essa lei permitiu determinar a temperatura de estrelas, como, por exemplo, a temperatura da coroa do Sol como sendo em torno de 6.000 K.

A primeira tentativa para obter teoricamente a função $I(\lambda, T)$ foi realizada pelo físico alemão Eugen Lommel (1837-1899), em 1878 (*Annalen der Physik* **3**, p. 251), usando um modelo mecânico descrevendo as vibrações de um corpo sólido. O primeiro passo para obter aquela função foi dado pelo físico austríaco Josef Stefan (1835-1893), ao estudar em 1879 (*Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien* **79**, p. 391), a velocidade com que os corpos se esfriam através da medida das áreas sob as curvas do espectro radiante térmico. Stefan chegou empiricamente à seguinte lei: $R \propto T^4$ - a **famosa lei de Stefan** -, onde R representa a intensidade total da radiação (energia por unidade de área e por unidade de tempo) emitida por um corpo a uma dada temperatura absoluta T. Mais tarde, em 1884 (*Annalen der Physik* **22**, p. 31; 291), o físico austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906) demonstrou matematicamente aquela lei, ao considerar como um gás a radiação eletromagnética no interior do **corpo negro**, e aplicando a esse gás as leis do **ciclo de Carnot** (1824), cuja pressão envolvida nessas leis foi calculada pela Teoria Eletromagnética Maxwelliana [formulada pelo matemático e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1867), em seu famoso livro: **A Treatise on Electricity and Magnetism**, publicado em 1873 (Dover, 1954)], como sendo considerada a pressão da **radiação térmica** (RT), que funciona como o material de trabalho daquele ciclo. Desse modo, Boltzmann encontrou o coeficiente de proporcionalidade (σ) entre R e T^4 . Desse modo, foi encontrada a famosa **Lei de Stefan-Boltzmann**, traduzida pela expressão: $R = \sigma T^4$.

É oportuno observar que o físico e astrônomo norte-americano Samuel Pierpont Langley (1834-1906) aperfeiçoou, em 1878, o **bolômetro** de Svanberg, cujos detalhes foram por ele apresentados somente em 1881 (*Proceedings of the American Academy* **16**, p. 187). Com tal dispositivo, Langley, em 1886 (*Annales de Chimie et Physique* **9**, p. 433), estudou o espectro solar na região infravermelha [que havia sido descoberta pelo astrônomo alemão Sir William (Frederick Wilhelm) Herschel (1738-1822), em 1800], bem como mediu a intensidade da radiação solar em outros comprimentos de onda ópticos. Muito embora o **bolômetro** haja, sobretudo, sido usado para medir a intensidade da radiação solar, posteriormente, ele foi também utilizado para medir a temperatura de corpos quentes, até o limite de 600 °C. Registre-se, também, que ainda em 1886 (*Königliche Porzellanmanufaktur, Berlin*), o ceramista alemão Hermann August Seger (1839-1893) inventou uma série de cones de argila de ponto de fusão conhecido (600 °C a 2.000 °C) – o famoso **pirômetro de cones normais de Seger**. Com eles, era possível determinar a temperatura de um alto-forno pela observação de quais cones fundiam ou não, quando inseridos no mesmo. Ainda tendo como base a **lei de Stefan-Boltzmann** [acrescida da hipótese do **quantum** proposto pelo físico alemão Max Karl Ernst Planck (1858-1947; PNF, 1918), em 1900

(*Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* **2**, p. 237), foi inventado o **pirômetro óptico** ou **pirômetro de filamento desaparecido** constituído por uma luneta, na qual são montados um filtro de vidro vermelho e uma lâmpada incandescente, sendo esta ligada a um circuito elétrico; esse dispositivo é usado para medir temperaturas altas. Por exemplo, para medir a temperatura de um alto-forno, dirige-se a luneta para sua fornalha e varia-se a resistência (reostato) do circuito elétrico até que o brilho do filamento incandescente da lâmpada se iguale ao da fornalha, sendo então a temperatura desta lida diretamente no amperímetro daquele circuito, que foi devidamente calibrado: brilho *versus* corrente. Para temperatura acima de 1.500 °C o brilho da fonte é primeiro atenuado por um filtro neutro. [Para maiores detalhes sobre **termômetros** ver, por exemplo, os textos: Enrico Perucca, **Física General y Experimental I** (Editorial Labor S. A., 1955); R. E. Bedford, **Thermometry**; J. H. Wernick and R. Wolfe, **Termoelétrico Devices, IN: Encyclopaedia Britannica, Macropaedia 18** (Chicago University, 1978); Denise Prazeres Lopes Pires, Júlio Carlos Afonso e Francisco Artur Braun Chaves, **Do termoscópio ao termômetro digital: quatro séculos de termometria** (*Química Nova* **29**, Novembro-Dezembro, 2006); Gibert, op. cit.; Middleton, op. cit.; Roller, op. cit.].

Conforme vimos até aqui, de um modo geral, um **termômetro** é construído tomando-se como base qualquer propriedade física das substâncias que varie com a temperatura. Assim, descrevemos os termômetros de líquido, de gás, de resistência elétrica e de radiação térmica. Contudo, outros **termômetros** também foram inventados tendo em vista outras propriedades físicas. Assim, tivemos os **termômetros bimetalícos** baseados na dilatação térmica dos metais; os **termômetros acústicos** que se baseiam no fato de que a velocidade de propagação de uma onda sonora através de um meio é função de sua temperatura; os **termômetros magnéticos** que decorrem da dependência da temperatura apresentada pela suscetibilidade magnética; os **termômetros de ruídos térmicos** que usam o princípio de que em qualquer condutor elétrico, o movimento dos elétrons no mesmo é randômico e a extensão de seu movimento é função da temperatura; os **termômetros de viscosidade** que usam a resistência oferecida por um tubo capilar ao fluxo de um gás através dele quando há uma variação de temperatura; os **termômetros piroelétricos** baseado no fenômeno da **piroeletricidade**, que é o fenômeno pelo qual cargas elétricas são criadas em cristais esquentados; esse fenômeno foi observado pela primeira vez pelo físico escocês Sir David Brewster (1781-1868), em 1824. Todos esses **termômetros**, é claro, têm aplicabilidade em intervalos de temperatura bem definidos, podendo alguns deles medir temperaturas extremamente baixas (10^{-5} °C), como ocorre no caso dos **termômetros piroelétricos**. (Bedford, op. cit.; Wernick and Wolfe, op. cit.).

Apesar de Kelvin, em 1854, haja apresentado a ideia de definir uma ET por intermédio de apenas um ponto fixo, foi somente em 1939 () que o físico e químico norte-americano William Francis Giaque (1895-1982; PNQ, 1949) (nascido no Canadá)

escolheu esse ponto como sendo o ponto triplo da água (temperatura na qual subsistem suas três fases: sólida, líquida e gasosa), para o qual lhe atribuiu a temperatura de $-273,16\text{ K}$. Desse modo, segundo Giauque, a temperatura de qualquer corpo pode ser calculada pela expressão: $T(\text{K}) = 273,16 X/X_{\text{tr}}$, onde X e X_{tr} representam, respectivamente, as propriedades termométricas da **substância termométrica** usada no **termômetro** nas temperaturas T e $273,16\text{ K}$. Note que essa proposta de Giauque foi aceita na *10ª Conferência Geral de Pesos e Medidas*, realizada em 1954. (Zemansky, op. cit.). É interessante destacar que, embora até o presente momento, o 0 K seja o limite inferior de temperatura de qualquer corpo, em 1951 (*Physical Review* **81**, p. 279), os físicos norte-americanos Robert Vivian Pound (n.1919) e Edward Mills Purcell (1912-1997; PNF, 1952) realizaram uma experiência, na qual criaram um estado de “temperatura negativa” para spins nucleares em fluoreto de lítio (LiF). Esse estado, contudo, foi conseguido sem passar por 0 K . Note que, em certas situações, essas “temperaturas negativas” são mais quentes que as positivas. [Ryogo Kubo, **Statistical Mechanics** (North-Holland Publishing Company, 1971)].

Na conclusão deste verbete, é interessante destacar que, no Século 20, os **termômetros** vistos acima foram melhorados na medida em que a Física foi se desenvolvendo. Por exemplo, com a explicação do **efeito fotoelétrico** [elétron arrancado por incidência de luz, em 1905 (*Annales de Physique Leipzig* **17**, p. 132), pelo físico germano-suíço-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921)], P. H. Geiger, em 1926, inventou a **célula fotoelétrica**, que foi usada para substituir o olho humano no **pirômetro óptico**. Por sua vez, os **transistores**, inventados em 1947 e 1948 (vide verbete nesta série), substituíram a Pt nos **bolômetros**. A descoberta do **efeito Schadt-Helfrich** [orientação de cristais em uma mesma direção sob a ação de um campo elétrico e com a capacidade de propagar a luz polarizada sem girar seu plano de polarização], em 1971, permitiu a invenção, em 1979, dos mostradores (*displays*) de cristais líquidos - os LCD (*Liquid-Crystal Displays*) (vide verbete nesta série). Tais mostradores foram então usados nos **termômetros digitais**. Dentre eles, destaca-se o **termômetro auricular infravermelho**, inventado pelo médico inglês David R. Phillips, em 1984. Ele permite determinar rapidamente a temperatura. Observe que desse tipo de **termômetro**, o mais famoso é o **Thermoscan**, inventado pelo engenheiro eletrônico e biomédico norte-americano Jacob Fraden, e colocado em uso em hospitais e consultórios médicos, em 1990, e continua sendo usado até hoje. É oportuno destacar que o primeiro **termômetro auricular** foi inventado pelo médico alemão Theodore Hannes Benzinger (1905-1999), por ocasião em que era piloto de teste da *Luftwaffe*, durante a *Segunda Guerra Mundial* (1939-1945). [Tom Philbin, **As 100 Maiores Invenções da História** (DIFEL, 2006)]. É ainda interessante ressaltar que, em 2009, físicos da *Universidade de Tecnologia de Helsinque*, inventaram um **termômetro eletrônico**, formado de camadas finas de isolantes, prensadas entre eletrodos, cuja variação da condutância elétrica é diretamente proporcional à energia térmica kT , onde k é a **constante de Boltzmann** e T a temperatura absoluta. Desse modo, esse tipo

de termômetro permite determinar a temperatura de um corpo (até 15×10^{-4} K), em função apenas da constante k. [Charles Q. Choi, *Scientific American Brasil* **82**, p. 25 (março de 2009)].



ANTERIOR

SEGUINTE