1. INTRODUÇÃO

Temperatura foi variável preponderante no processo inicial de criação do universo. Manteve-se nesta condição pelos milênios que antecederam aos tempos atuais e continua a influir em todos os processos naturais e em todas as atividades humanas. No contra fluxo desse processo, a proposta deste documento é trazer ao leitor um pouco da história recente das ações do homem com relação a temperatura. Obviamente, cobrindo infinitesimal lapso de tempo no processo universal.

Inicialmente, temperatura foi uma grandeza apenas percebida por alguns dos sentidos humanos, basicamente, quanto ao quente, o frio, o rubro, o incandescente, etc. Mas, com o passar dos tempos, tronou-se objeto de estudos, ocupou espaço no campo da criatividade e se consolidou como uma grandeza-chave no âmbito da ciência da medição.

A palavra termometria, aplicada para denominar as atividades técnicas e científicas relacionadas à medição de temperatura, tem origem recente. Mas já em tempos distantes, ainda sem esta denominação, foi assunto de pensadores, experimentadores, inventores e príncipes. Artefatos vinculados à termometria decoraram salas de nobres europeus e temperatura foi grandeza fundamental no processo de movimentação dos teares durante a revolução industrial. Nos nossos dias, influencia tudo. Da medicina à conquista do espaço. Do conforto pessoal aos diversificados processos de interconexão e intercomunicação globais.

Temperatura é hoje uma das grandezas mais medida e controlada em todo o mundo, mesmo persistindo as dificuldades para seu entendimento, sua quantificação e seu controle. Todas as propriedades físico-químicas da matéria dependem da temperatura. Da mangueira endurecida pelo frio, que dificulta seu uso nas manhãs geladas, ao chocolate derretido ou endurecido nas bagagens de viajantes que se movem entre locais com diferentes temperaturas.

Na metrologia, além da importância intrínseca, temperatura é variável que influencia a medição de muitas outras grandezas. Altera dimensões, impacta constantes físicas, muda o desempenho e as incertezas dos equipamentos de medição. Em suma, não importa o que se faz, pois, independente do afazer, a temperatura nele interfere, direta ou indiretamente, ditando ritmo de produção e consumo de energéticos, sendo, ela própria, a expressão da energia.

2. O CONCEITO DE TEMPERATURA

Embora seja uma grandeza do nosso convívio, percebida nas sensações do quente e do frio, temperatura é um grandeza difícil de ser definida. Apresenta uma concepção macroscópica na termodinâmica e outra, microscópica, na física estatística.

Temperatura é uma grandeza de caráter intensivo, mensurada por seus efeitos nos corpos físicos e não por um *quantum, per si*. Nos seus valores não são passíveis das operações algébricas permitidas para outras grandezas. Por exemplo, valores em temperatura não podem ser somados ou subtraídos. Se compramos 1 m de um tecido, e depois mais 2 m, então temos 3 m. Mas em temperatura isso não ocorre: um objeto a 25 ˚C justaposto a outro a 25 ˚C, não resulta num terceiro a 50 ˚C. A temperatura de ambos continuará a 25 ˚C.

O caráter intensivo da temperatura reflete uma condição do estado energético vibracional médio das moléculas ou átomos de um meio: frio, quente, congelando, derretendo. Embora não seja uma medida direta da quantidade de calor, é condicionada pela quantidade de calor num objeto. Exceto em pontos notáveis em que ocorrem mudanças de propriedades de estado ou de propriedades, a temperatura dos objetos crescem ou diminuem com a absorção ou liberação de calor, em taxas que dependem de suas capacidades térmicas. Em conformidade com a lei zero da termodinâmica, “se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, então eles estão em equilíbrio térmico entre

si". Como corolário, vale dizer que "*se dois objetos com temperaturas diferentes forem colocados em contato térmico, o calor fluirá do mais quente para o mais frio, infinitamente, até que suas temperaturas se tornem iguais"*. Isso levou Rankine, em 1853, a definir como tendo temperaturas iguais duas porções de matéria que não tentam transferir calor entre si. Isso significa que, quando os corpos estão em equilíbrio térmico, não há uma diferença de energia térmica entre eles, e, portanto, não ocorre transferência de calor. Esses princípios são notadamente fundamentais nas medições de temperatura que utilizam sensores de contato.

O olho humano e o tato, que também operam como um sensores de temperatura numa ampla faixa de valores, o conceito é intuitivo muito subjetivo. Depende de condições prévias, dos locais, da natureza dos objetos e da capacidade de discernimento sensorial de cada ser. Por exemplo, num dia muito frio, objetos com baixa condutividade térmica, como plásticos e madeiras, dão a sensação de estarem mais quentes que os de metal, o que não é verdade quando ambos se ambos estiverem por longos períodos no mesmo ambiente. Essa sensação advém do fato do nosso corpo estar em temperatura diferentes às desses objetos, provocando troca de calor no momento do toque. Como os metais possuem condutividades térmicas superiores às dos plásticos e madeiras, a troca de calor e maior no momento do toque, causando a impressão de que o metal está mais frio. Noutro exemplo, quando estamos num ambiente escuro e com a pupila adaptada à condição de pouca luz, objetos aquecidos à temperaturas acima do rubro (>550 ˚C) nos parecerão mais quentes do que se fossem vistos em ambientes muito claros.

3. TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Calor é a energia cinética total dos átomos e moléculas que compõem uma substância. Sua transferência de calor é uma variável de fundamental importância nas atividades de termometria, pois condiciona a forma como a energia é transferida entre objetos, bem como o tempo necessário para se alcançar o equilíbrio térmico entre esses objetos. Como as medições temperatura por meios de sensores de contado pressupõem o equilíbrio térmico entre os sensores e os meios, a velocidade da transferência de calor influencia o tempo necessário para uma estabilização esperada, a forma de instalação dos sensores, o carregamentos de sensores num processo de calibração, dentre outras consequências. Para os fins desejados no contexto deste documento, as discussões serão limitadas apenas a alguns conceitos fundamentais, com recomendação ao leitor para ampliar por meio de outras fontes, seus conhecimentos sobre o assunto.

Há três formas conhecidas e bem parametrizadas de transferência de calor: condução, convecção e radiação. Essas três formas são sucintamente conceituadas a seguir.

3.1. Transferência por condução.

Condução é forma de transferência de calor entre regiões no interior de um corpo físico quando essas regiões estão em diferentes temperatura, ou seja, estão sujeitas a gradientes térmicos. Similarmente, também é chamada de condução a transferência de calor entre corpos físicos independentes, quando suas temperaturas são diferentes e a interface de contato entre ambos permite a passagem de calor. Suscintamente, a condutividade térmica (κ) é a propriedade que expressa a quantidade de calor (ΔQ) transferida no intervalo de tempo (Δt), na direção normal à uma superfície de área (S), com espessura (L), quando há uma diferença de temperatura (ΔT). Matematicamente essa correlação pode ser expressa por:

$$\kappa = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \times \frac{L}{S \Delta T}$$, onde:

ΔQ = Montante de calor transferido;
Δt = Intervalo de tempo da transferência;
ΔT = Diferença de temperatura;
S = Área normal de transferência;
κ = Condutividade térmica.

A condução se dá pelas interações cinéticas entre as partículas de um mesmo corpo físico, ou entre as partículas de corpos diferentes na região de interface de seus contatos. Ocorre com maior intensidade nos meios sólidos, nos quais a rede das inter-relações espaciais entre átomos é

relativamente fixa, o que ajuda na transferência da energia por meio das vibrações entre esses átomos.

Seguindo as leis da termodinâmica, o calor (energia) sempre flui do corpo com temperatura mais alta para outros com temperaturas mais baixas. A capacidade das substâncias para conduzir calor é uma propriedade chamada condutividade térmica, que varia consideravelmente entre os materiais. Como dito anteriormente, os sólidos tendem a ser melhores condutores térmicos que líquidos, e estes, por suas vezes, melhores que os gases. Em termos práticos na termometria, os metais são considerados excelentes condutores. O gases, como o ar, em contraponto, péssimos condutores, independente do bom desempenho do hélio e do hidrogênio entre os gases.

3.2. Transferência por convecção.

Convecção é o mecanismo de transferência de calor em meio fluído, causado pelo livre movimento das moléculas desse meio. A convecção se dá por causas naturais, condição em que o fluído não sofre interferência externa (agitação), ou forçada, quando mecanismos externos como agitadores, bombas e sopradores são utilizados para movimentar o fluído. Em muitas aplicações térmicas (banhos, fornos, câmaras térmicas e climáticas) a agitação forçada do ar ou de um liquido, é necessárias para aumentar a transferência do calor por meio da convecção e melhorar a uniformidade térmica. A transferência de calor por convecção pode ser expressa por:

$$Q = hS[(Ts)^4-(Tb)^4], \text{ onde:}$$

h = Coeficiente de transferência. Depende do fluido e do tipo de fluxo (laminar ou turbulento).
S = Superfície de transferência do calor;
T_s = Temperatura da superfície;
T_b = Temperatura do fluído, longe da superfície.

3.3. Transferência por radiação.

Radiação, as vezes também denominada irradiação, é o mecanismo pelo qual calor é transferido de um ponto para outro por meio de ondas eletromagnéticas, que viajam ã velocidade da luz.

Esse fenômeno ocorre em todos os corpos físicos que estejam numa temperatura acima do zero absoluto, ou seja, acima de -273 K. A intensidade da transferência depende das propriedades superficiais dos corpos emissores e receptores e varia exponencialmente com a temperatura, numa razão de quarta potência, de acordo com a seguinte expressão:

$$P = \varepsilon.\sigma.S.T^4, \text{ onde:}$$

P = Potência da radiação emitida por unidade de área
ε = Emissividade da superfície do corpo emissor
σ = Constante de Stefan-Boltzmann = $5{,}670373 \times 10^{-8}$ kg s^{-3} K^{-4}
T = Temperatura Kelvin do objeto = (t˚C + 273,15).

Em altas temperaturas a radiação torna-se o principal mecanismo de transferência de calor.

4. BREVE HISTÓRICO DA TERMOMETRIA

A primeira tentativa documentada para criar uma escala de temperatura data do século II D.C, época em que Cláudio Galeno (o de Pérgamo), reconhecido médico e filósofo greco-romano, sugeriu que as sensações de quente e frio fossem quantificadas em 8 graus de temperatura, sendo 4 acima e 4 abaixo de um ponto neutro. Nesse intento, Galeno atribuiu à água fervente o valor de “4 graus de calor” e à neve “4 graus de frio”. A temperatura neutra foi definida com a resultante de uma mistura de iguais quantidades de água fervente e neve.

Cerca de 1500 anos depois, na Suíça, foi proposta uma nova escala de temperatura balizada nas temperaturas das latitudes terrestres. O valor de 4 graus de frio foi atribuído à temperatura dos polos

e quatro graus de calor atribuído à temperatura do equador. Essa escala tinha como objetivo quantificar misturas de drogas para serem ministradas como remédios em diferentes regiões da terra.

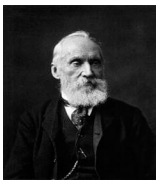
Passando por outras ideias e artefatos, com destaque para inventos atribuídos ao filósofo e inventor Héron de Alexandria (século I D.C.), coube a Galileu Galilei, Itália em 1592, a invenção do primeiro termômetro, posteriormente denominado termoscópio de Galileu. O artefato consistia em tubo de vidro, encimado por um balão e sustentado com a extremidade inferior imersa num reservatório com álcool colorido. Quando o balão era aquecido, o ar expandia-se e borbulhava através do álcool no reservatório. Quando o balão era esfriado, álcool penetrava e subia no tubo. As variações da temperatura do balão podiam ser observadas e quantificadas por meio de marcas feitas no tubo. Esse artefato foi posteriormente aprimorado pelo italianos Bartolomeu Telioux e Santoro Santorre.

Já século XVII os termômetros de eram bem conhecidos. Em 1644, Evangelista Torricelli descobriu a variabilidade da pressão do ar e demonstrou que o termômetro de Torricelli não só indicava variações de temperatura, mas também às de pressão, criando o barômetro de Torricelli.

O primeiro termômetro de vidro, em formato parecido com os atualmente em uso, foi um aprimoramento feito pelo Grão Duque da Toscana, Ferdinando II, que selou o tubo de contenção do álcool e gravou uma escala arbitrária de temperatura com 50 divisões. Com o fechamento do tubo, o dispositivo ficou livre da influência da pressão atmosférica. Surgiu, aí, o “termômetro florentino”, que passou para a história como o primeiro termômetro de líquido em vidro com construção selada e escala incorporada. Doravante, o termômetro de líquido tornou-se amplamente conhecido, notadamente, após a publicação de um relatório da Academia de Cimento de Florença sobre essa técnica e da construção de termômetro com tubos enrolados em formato de helicoides, alguns contendo várias escalas. Outros aprimoramento, iniciados por Robert Hooke, da London Royal Society, posteriormente continuados por outros desenvolvedores, resultaram em termômetros com diferentes formatos e elevado número de escalas.

Coube Gabriel Fahrenheit, fabricante holandês de instrumentos de precisão, construir termômetros de mercúrio mais precisos e repetitivos. Fahrenheit definiu como ponto base da encala como a temperatura de uma mistura de gelo/sal, atribuiu-lhe o valor de 32˚F. Para o extremo superior, escolheu a temperatura normal do corpo humano, atribuiu-lhe o valor de 96 ˚F. Esses valores permitiam divisões em 12, 24 e 48 partes. Essa escala ganhou grande popularidade, e, ainda, hoje é muito aplicada nos países de origem saxônica.

O sueco Anders Celsius, por volta de 1742, propôs que o ponto de fusão do gelo e o ponto de ebulição da água fossem adotados como marcos de início e fim de uma escala termométrica, atribuindo-lhe, respectivamente, os valores de 0 ˚C e 100 ˚C.



No início século XIX o físico e matemático inglês, Sir William Thomson (foto ao lado), que passou para a história da ciência com o nome de Lord Kelvin, desenvolveu uma escala termodinâmica, científica e universal, baseada nos coeficientes de expansão dos gases ideais, introduzindo o conceito de “zero absoluto”, um valor teórico de temperatura no qual inexiste energia cinética na matéria. Essa escala, denominada de Kelvin, passou a ser a base para formulações na física e para a moderna termometria.

Hoje amplamente utilizada, a termometria realizada com base no efeito da variação da resistividade elétrica dos metais com relação a variação da temperatura, notadamente da platina, foi iniciada com Sir Humphrey Davy, em 1821. No entanto, coube a Sir William Siemens (nascido na Alemanha como Carl Wilhelm Siemens) propor, em 1887, o uso dos termômetros de resistência de platina, que posteriormente se popularizaram. Em 1887, Hugh L. Callendar aperfeiçoou esse tipo de termômetro, estabelecendo as correspondências entre os valores da resistividade da platina com valores de temperatura medidos com termômetros de gás. Essas medições permitiram a elaboração das atuais tabelas de resistência (resistividade) versus temperatura para os tipos mais comuns e comerciais de termoresistências de platina, destacando que as termoresistências padrão, cuja platina atende a um definido nível de pureza, assumiu, a partir de publicação da Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS90) a posição de artefato de interpolação entre os valores de - 259,34 ˚C a 961.78 ˚C.

Outra linha de pesquisa conduziu o físico alemão-estoniano Thomas Johann Seebeck (1821) à descoberta do princípio funcional do termopar, um dispositivo que viria a se tornar um dos principais sensores de medição de temperatura. Seebeck descobriu que "dois condutores elétricos dissimilares, quando interligados numa de suas extremidades, gerava uma força eletromotriz de origem térmica entre as outras, se essas fossem mantidas em temperaturas diferentes da primeira interligada". Esse efeito passou a ser conhecido como efeito Seebeck.

Nos últimos 100 anos foram muitos os aperfeiçoamentos feitos nos artefatos de medição de temperatura anteriormente relatados, principalmente no que tange a aplicação de novos materiais como partes construtivas de sensores térmicos e dos acessórios para montagens. Mas, destacadamente, foi a microeletrônica e o uso extensivo dos microprocessadores os grandes impulsores dos recentes avanços na medição da temperatura, permitindo a coleta, o condicionamento e o processamento de sinais gerados pelos já antigos sensores térmicos e suas expressões em unidades de medida facilmente inteligíveis.

A partir de 1960, com a adoção em âmbito mundial do Sistema Internacional de Medidas (SI), exceto por alguns países com pouca expressão tecnológica, passou a ser utilizado um conjunto sistematizado e padronizado de definições para as unidades de medida e constantes físicas, o que resultou em padronização e uniformização das medições, tanto das grandezas físicas fundamentais, quanto das derivadas Neste sistema, a temperatura termodinâmica é uma das sete grandezas fundamentais, tendo por unidade o kelvin, simbolizado por K, assim definido:

> "*O kelvin, K, unidade da temperatura termodinâmica, é a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água. Esta definição foi aprovada pela 13.ª Conferência Geral dos Pesos e Medidas (CGPM). Dessa forma, a unidade de temperatura termodinâmica é definida atribuindo um valor à temperatura termodinâmica (absoluta) de um único estado da matéria bem definido, universal e reprodutível. O SI reconhece que os valores de temperatura expressos em K não são adequados às práticas da engenharia, admitindo a utilização da escala Celsius, sendo que t /°C = T/K - 273,15, em que t/°C é a temperatura termodinâmica em graus Celsius e T/K é a temperatura termodinâmica equivalente em K.*

5. ESCALAS DE TEMPERATURA

Há quase três séculos cientistas, fabricantes e usuários de termômetros sentiram a necessidade da adoção de escalas termométricas padronizadas na construção de termômetros. Essas escalas deveriam ser simples, termodinamicamente corretas e facilmente reprodutíveis em qualquer país e lugar. Não podiam depender dos artífices e dos artistas, como foi na idade média e na renascença. Notadamente na Europa, cientistas e inventores passaram a escolher fenômenos físicos naturais, com ocorrências em temperaturas bem conhecidas e reprodutíveis, para balizar escalas termométricas. Algumas propostas se mostraram consistentes e foram adotadas e universalizadas, chegando aos tempos atuais nas graduações dos termômetros, na literatura e nas linguagens técnica e coloquial. Para efeito nesse documento, serão apresentadas as escalas Celsius e Kelvin, por serem as mais empregadas no Brasil. Também são brevemente mencionadas a Fahrenheit e a Rankine, por ainda serem utilizadas em diversos países, notadamente nos EUA.

5.1. Escala Celsius.

A escala Celsius, criada em 1742 pelo astrônomo e físico sueco Anders Celsius (foto ao lado) é definida com intervalos regulares e unitários de 1 ˚C, numa faixa delimitada pelas temperaturas do gelo fundente (0 ˚C) e de vapor (ebulição) da água (100 ˚C), na pressão de 1 atm. A identificação de um valor de temperatura na escala Celsius é feita pela letra t, cujo símbolo é o ºC, que deve ser colocado após o número, distanciado de um espaço em branco. Exemplo: 450,2 ºC. No Brasil, e praticamente em todos os demais países signatários da Convenção do Metro (França-1875), exceto as populações não acadêmicas dos EUA e da Inglaterra que culturalmente se expressam em ˚F, a escala ˚C é aplicada pelos meios de informação, engenharia, indústria, comércio e nas áreas de serviços.

A correspondência entre a escala Celsius e Kelvin é uma relação linear, com mesmo intervalo, definida pela seguinte equação: ˚C = K – 273,15, onde ˚C é temperatura Celsius. Na escala Kelvin, o 0˚C = 273,15 K.

5.2. Escala Kelvin (Temperatura Termodinâmica)

A Escala Termodinâmica Kelvin, chamada de escala absoluta e normalmente simbolizada por T, tem como unidade o kelvin (K). O kelvin K é a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água. De acordo com essa definição, a relação da escala Celsius e a equação (t = T - 273,15 K), o ponto triplo da água ocorre à 0,01 ˚C (à pressão de 61,652 Pa).

Os valores da escala termodinâmica seguem a lei dos gases ideais, um modelo idealizado, formado por partículas com níveis quânticos totalmente preenchidos, que não se atraem nem se repulsam, cujos choques são perfeitamente elásticos para assegura a conservação do momento e da energia cinética. No mundo dos gases reais, os gases monoatómicos em baixas pressões e em altas temperaturas têm comportamento muito próximo à de um gás perfeito.

Para fins na engenharia foram desenvolvidas equações matemáticas que correlacionam, com boa aproximação à lei dos gases ideais, as variáveis temperatura, pressão e volume e retratam. Essa equação estabelece que:

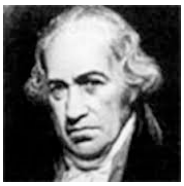
PV = nRT, onde:

P = pressão;
V = volume;
n = número de mols do gás;
T = temperatura Kelvin;
R = Constante universal dos gases ideais.

Nota: R é uma constante que pode ser expressa de várias formas, por exemplo, com o valore de 0,08205746 (l.atm)/(K.mol).

Para uma mesma massa de gás em que **n** é constante, passa a ser válida a expressão prática, que estabelece: P1V1/T1 = P2V2/T2

5.3. Escala Fahrenheit



A escala Fahrenheit foi elaborada pelo físico e soprador de vidro alemão-polonês Daniel Gabriel Fahrenheit, (1986-1736), (foto ao lado), que residiu boa parte de sua vida como fabricante de instrumentos de precisão na Holanda. Conta-se que a sua escala foi pitorescamente definida tomando o como 0 ˚F a temperatura resultante de uma mistura de gelo picado, a água e sal, e como 100 ˚F a temperatura da boca (ou sob as axilas), de um homem gozando de boa saúde. Nessa escala, o valor do ponto do gelo foi fixado em 32 ˚F e fixado em 212 ˚F o valor do ponto de ebulição da água à 1 atm. A identificação de temperaturas na escala Fahrenheit é feita com o símbolo ˚F colocado após o número, distanciado de um espaço em branco. Exemplo: 120 ˚F.

O intervalo unitário do grau Fahrenheit (˚ F) é o mesmo grau Rankine (˚R), em que o ponto zero corresponde a 459,67 ˚R.

Esta escala Fahrenheit é diretamente correlacionada com escala termodinâmica Rankine, seguindo a seguinte equação matemática: ˚F = ˚R - 459,67

5.4. Conversão de escalas

Os valores das escalas de temperatura podem ser convertidos entre si por meio de equações matemáticas simples, tais como:

K = (˚F + 459,67) / 1,8;
˚F = ˚R - 459,67
˚F = ˚C × 1,8 + 32
˚C = (˚F - 32)/1,8

5.5. Escala Internacional de Temperatura

A Escala Internacional de Temperatura de 1990, nome internacionalmente abreviado para ITS-90 e por EIT-90 em publicações em português, entrou em vigor em 01 janeiro 1990, substituindo a IPTS-68 e Escala Prática de Temperatura de 1976 (EPT-76). Tornou-se escala padrão para os fins na ciência e na tecnologia, incluindo as atividades relacionadas à termometria e à calibração de equipamentos de medição. Sua unidade termodinâmica é o kelvin, com símbolo (K), mas o grau Celsius, com símbolo (˚C) é comumente utilizado nas aplicações rotineiras da engenharia.

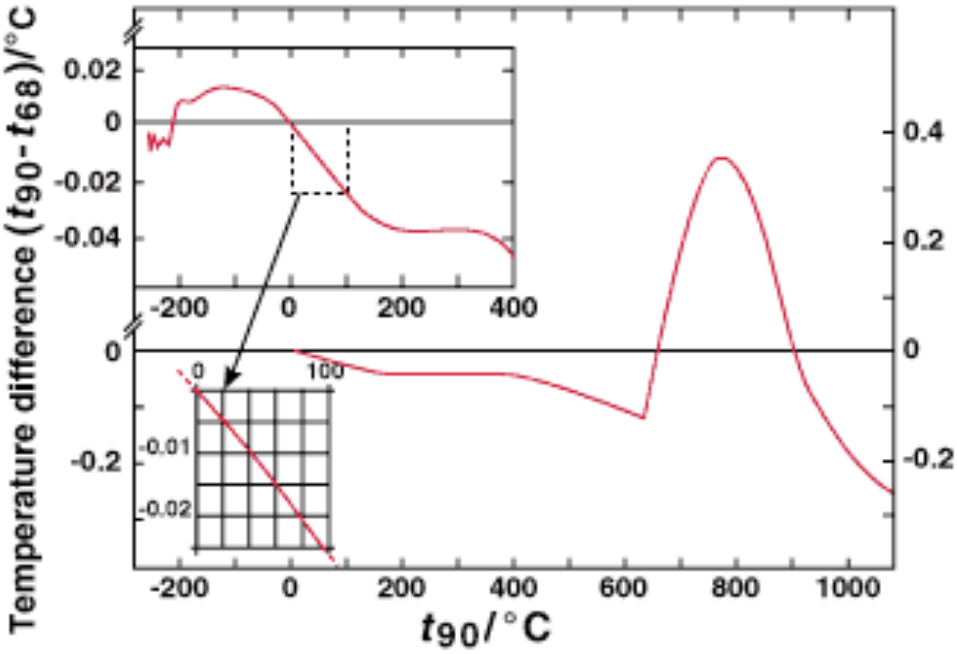
A ITS-90 é uma aproximação quase perfeita da escala termodinâmica ou absoluta, e, por isso, facilita a comparabilidade e compatibilidade das medições de temperatura em âmbito mundial. É definida por sub-faixas de medição, que apresentam certas sobreposições. Quando encadeadas, cobrem a faixa desde 0,65 K até 1357,77 K, ou seja, de -272,5 ˚C até 1084,62 ˚C.

A ITS-90 difere do IPT-68 em alguns aspectos importantes, com seguintes destaques:

- É definida no ponto triplo da água (273,16 K) em substituição ao ponto do gelo (273,15 K);
- Foi estendida até o valor de 0,65 K, em vez de 13,8 K como era na IPTS-68;
- Seus valores são mais próximos aos das temperaturas termodinâmicas;
- A continuidade e a precisão foram melhoradas;
- Foram definidas novas faixas e sub-faixas, que se sobrepõem;
- Para algumas faixas foram estabelecidas definições alternativas, mantendo-se a equivalência;
- Foi incluída escala até pressão de vapor hélio;
- Foi incluído o termômetro de gás como instrumento de interpolação;
- Uso do termômetro de resistência de platina, com faixa estendida de 630 °C para o ponto da prata, 962 ˚C;
- O termopar PT/10%Rh-Pt foi retirado como dispositivo de definição;
- A faixa coberta pela Lei de Planck foi abaixada para o ponto da Ag (961.78˚C), em substituição ao ponto do Au (1064.18˚C), permitido o uso dos pontos da Ag, Au ou Cu como pontos de referência para esta faixa da escala.

O Figura 1, abaixo, mostra as diferenças de valores entre as escalas ITS-68 e ITS-90 em termos de t90-t68/˚C.

Figura 1 - Diferenças de temperaturas entre a ITS 90 e IPTS 68



Os principais pontos fixos e instrumentos de interpolação são citados a seguir:

5.6. Definição dos pontos fixos da ITS90

Substância/Estado	Faixa (K)	Faixa (˚C)	Wr (T90)
Pressão de vapor x temperatura, para He^3 - (equação).	0,65 a 3,2	−272,50 a −269,95	---
Pressão de vapor x temperatura para He^4, abaixo do ponto lambda - (equação).	1,25 a 2,1768	−271,90 a −270,9732	---
Pressão de vapor x temperatura para He^4, acima do ponto lambda - (equação).	2,1768 a 5,0	−270,9732 a −268,15	---
Pressão de vapor x temperatura para He, acima do ponto lambda - (equação).	3 a 5	−270,15 a −268,15	---
Ponto triplo do hidrogênio	13.8033	−259.3467	0.001 190 07
Ponto triplo do neônio	24.5561	−248.5939	0.008 449 74
Ponto triplo do oxigênio	54.3584	−218.7916	0.091 718 04
Ponto triplo do argônio	83.8058	−189.3442	0.215 859 75
Ponto triplo do mercúrio	234.3156	−38.8344	0.844 142 11
Ponto triplo da água	273.16	0.01	1.000 000 00
Ponto de fusão do gálio	302.9146	29.7646	1.118 138 89
Ponto de solidificação do índio	429.7485	156.5985	1.609 801 85
Ponto de solidificação do estanho	505.078	231.928	1.892 797 68
Ponto de solidificação do zinco	692.677	419.527	2.568 917 30
Ponto de solidificação do alumínio	933.473	660.323	2.568 917 30
Ponto de solidificação da prata	1234.93	961.78	3.376 008 60
Ponto de solidificação do ouro	1337.33	1064.18	4.286 420 53
Ponto de solidificação do cobre	1357.77	1084.62	---

Nota: *A pressão de vapor, ou de equilíbrio de pressão de vapor, é a pressão exercida pelo vapor em equilíbrio termodinâmico com as suas fases condensadas (sólido ou líquido), a uma dada temperatura, num sistema fechado.*

5.7. Faixas e instrumentos de interpolação da ITS 90

Os meios disponíveis para medição e interpolação levam à divisão da escala de temperatura em quatro faixas:

5.7.1.Faixa de - 259,34 a 961.78 ˚C.

É baseada em medições feitas com termômetros de resistência de platina. Mais de um tipo de termômetro é necessário para cobrir toda a faixa, e esses termômetros devem ser confeccionados com platina de alta pureza, que apresente resistividade elétrica acima de valor mínimo estabelecido. Esses termômetros são conhecidos na comunidade metrológica com denominação "Standard Platinum Resistance Thermometer – SPRT", com tradução "Termômetro Padrão de Platina", com resistências típicas de 25,5Ω no ponto do gelo. A faixa de - 259,34˚C a 961.78 ˚C é subdividida em 4 sub-faixas para efeito de interpolação, e, para cada uma, há diferentes razões para as resistências medidas pelo SPRT em função dos pontos fixos de referência. Essas razões são aplicadas para determinas as constantes a serem utilizadas nas equação polinomial de interpolação. Detalhes sobre esse assunto pode ser encontrado nas "Supplementary Information for the ITS90".

5.7.2.A faixa acima de 1.064,43 ˚C,

É baseada em medições de intensidade da radiação, no espectro do visível, comparada com aquela de mesmo comprimento de onda emitida na temperatura do ponto de fusão do ouro, seguindo a equação de Planck para radiação do corpo negro.

1. Bibliografia

1. Quinn, T. J.: Temperature. Academic Press: London, 1990
2. Nicholas, J. V. and White, D. R.: Traceable Temperatures. John Wiley & Sons Ltd.:England, 2001.
3. BIPM: Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990.
4. H. Preston-Thomas - Division of Physics, National Research Council of Canada, Ottawa, K1A OS1 Canada: 1989.