

versão preliminar

---

leituras de  
**física**

GRAF

Física Térmica.  
para ler, fazer e pensar

---

# 1

01. Calor, Presença Universal.
02. Esquentando os motores e preparando a rota.
03. Medidas de temperatura.
04. Controle de temperatura.
05. Calculando a dilatação.

Leituras de Física é uma publicação do

## **GRAF - Grupo de Reelaboração do Ensino de Física Instituto de Física da USP**

### **EQUIPE DE ELABORAÇÃO DAS LEITURAS DE FÍSICA**

Anna Cecília Copelli  
Carlos Toscano  
Dorival Rodrigues Teixeira  
Isilda Sampaio Silva  
Jairo Alves Pereira  
João Martins  
Luís Carlos de Menezes (coordenador)  
Luís Paulo de Carvalho Piassi  
Suely Baldin Pelaes  
Wilton da Silva Dias  
Yassuko Hosoume (coordenadora)

### **ILUSTRAÇÕES:**

Fernando Chuí de Menezes  
Mário Kano

**GRAF - Instituto de Física da USP**  
**rua do Matão, travessa R, 187**  
**Edifício Principal, Ala 2, sala 305**  
**05508-900 São Paulo - SP**  
**fone: (011) 818-7011 fax:(011) 818-7057**

financiamento e apoio:

Convênio USP/MEC-FNDE

Sub-programa de educação para as Ciências (CAPES-MEC)

FAPESP / MEC - Programa Pró-Ciência

Secretaria da Educação do Estado de São Paulo - CENP

**A reprodução deste material é permitida, desde que observadas as seguintes condições:**

- 1. Esta página deve estar presente em todas as cópias impressas ou eletrônicas.**
- 2. Nenhuma alteração, exclusão ou acréscimo de qualquer espécie podem ser efetuados no material.**
- 3. As cópias impressas ou eletrônicas não podem ser utilizadas com fins comerciais de qualquer espécie.**

**junho de 1998**

# 01

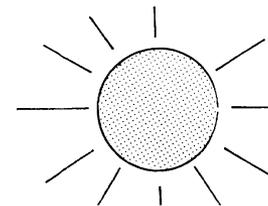
Calor,

Presença Universal

Não há nada, na  
Natureza ou nas  
Técnicas, que não tenha  
a ver com o calor

Se alguma coisa dá a impressão de não ter  
nada a ver com a idéia de calor...

é só impressão!



**Todas as coisas recebem e cedem calor o tempo todo. Quando esta troca é equilibrada, se diz que elas estão em equilíbrio térmico. Quando cedem mais do que recebem, ou vice-versa, é porque estão mais quentes ou mais frias que seu ambiente.**

Portanto...

tudo tem a ver

com o calor...

**mesmo que não pareça!**

Quando tentamos pensar em alguma coisa que "não tem nada a ver com o calor" é natural, por oposição, pensar em algo frio. Na realidade, quando se diz que um objeto está frio, é porque está menos quente que o ambiente à sua volta, ou porque está menos quente do que a mão que tateia o objeto.

Como veremos, a percepção de que alguma coisa "é fria" está associada a ela estar tomando calor do ambiente ou da mão que a toca. Da mesma forma, se diz que alguma coisa está quente, quando está cedendo calor à mão que a toca ou ao ambiente.

Geladeiras ou regiões geladas do planeta tem tanto a ver com o calor quanto fornos ou desertos:

A GELADEIRA, POR EXEMPLO, É UM APARELHO DE BOMBEAR CALOR. VOCÊ PODE VERIFICAR COMO É QUENTE A "GRADE PRETA" ATRÁS DELA. TRATA-SE DO RADIADOR QUE EXPULSA O CALOR TIRADO DO INTERIOR DA GELADEIRA, OU SEJA, DOS OBJETOS QUE REFRIGERA; PARA SOBREVIVER NO PÓLO NORTE, OS ESQUIMÓS PRECISAM DO ISOLAMENTO TÉRMICO DAS ROUPAS DE PELE DE ANIMAIS E PRECISAM COMER ALIMENTOS COM ALTO TEOR CALÓRICO. ALÉM DISSO, PARA ENTENDER PORQUE OS PÓLOS SÃO TÃO FRIOS, É PRECISO SABER QUE OS RAIOS DE LUZ E DE CALOR VINDOS DO SOL SÓ CHEGAM LÁ MUITO INCLINADOS, E MESMO ASSIM SÓ DURANTE METADE DO ANO...

Por falar em sol, quando a gente olha pro céu, numa noite de inverno, vendo aquelas estrelinhas que parecem minúsculos cristais, perdidos na noite fria...



...pode achar difícil acreditar que cada estrelinha daquela é um quantíssimo sol, cuja luz viajou milhões de anos pra chegar até nós. Se houver planetas em torno delas, quem sabe se não haverá vida em seu sistema solar...



## Abertura e Plano de curso

SERÁ PRECISO FERVER O MOTOR, PARA LEMBRARMOS QUE O AUTOMÓVEL É "MOVIDO A CALOR", POIS O QUE O EMPURRA É UM MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA?

DA MESMA FORMA, SERÁ PRECISO FICARMOS COM FEBRE, PARA LEMBRARMOS QUE TAMBÉM SOMOS SISTEMAS TÉRMICOS E QUE "NOSSO MOTOR" TAMBÉM USA COMBUSTÍVEL?



Além de todas as coisas estarem constantemente trocando calor entre si e com seu meio, grande parte dos objetos necessita de processos térmicos para sua produção.

Não só bolos e biscoitos são produzidos em fornos, pois todos os metais, por exemplo, precisam de fornos para serem extraídos de seus minérios, assim como para serem fundidos e depois moldados ou, pelo menos, para serem aquecidos antes de serem laminados,

Quando nos lembramos de um combustível, qualquer derivado de petróleo ou o álcool, por exemplo, podemos imediatamente associar estas substâncias com a produção de calor...

...mas nos esquecemos que estas substâncias necessitaram de calor, nas destilarias, para serem produzidas!

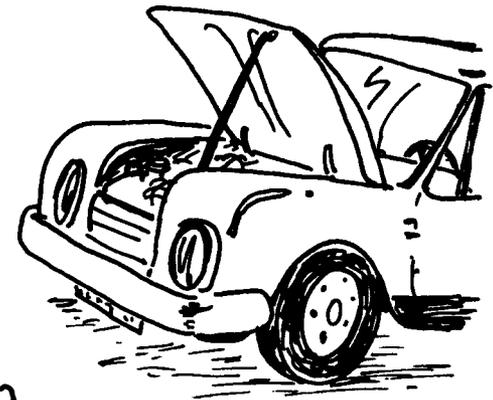
Difícil mesmo, é achar alguma coisa que não precise de calor para ser produzida:

Uma fruta,  
será que é preciso  
calor

para produzi-la?

No motor  
do automóvel, será  
possível produzir o  
movimento do carro,

a partir do  
combustível,  
mantendo o motor frio?



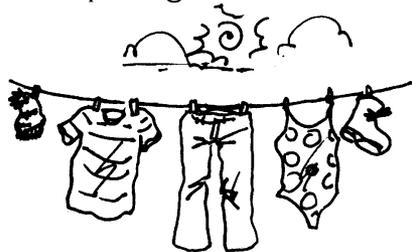
# Calor, Presença Universal

## Faça você mesmo...

Talvez você ainda não esteja convencido de que o calor esteja presente em tudo no universo. Não há de ser nada, você ainda chega lá...

Você poderia dar uma olhada à sua volta e dizer que coisas, na sua opinião, estão mais diretamente relacionadas com o calor? Qual característica ou qualidade destas coisas as associa a processos térmicos?

Veja as roupas que você está usando ou tem guardadas. De algodão, de lã ou outros tecidos, seus modelos, com ou sem manga, com ou sem gola, com ou sem forro, com ou sem botões para regular as trocas de calor...



Veja na cozinha, que coisas produzem calor, que coisas transmitem calor, que coisas extraem calor, que coisas isolam para não perder calor. Chama, panela, cabo de panela...

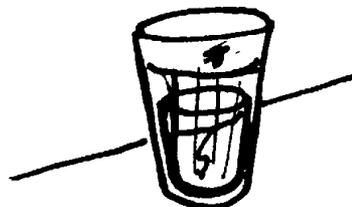


Veja no banheiro. Veja a estrutura da própria casa ou edifício.

Veja alguns exemplos:

água

(serve, entre outras coisas, como meio de refrigeração)



Cobertor

(serve como isolante térmico, evitando maiores perdas de calor pelo corpo, em noites frias)



Dilatação

(é provocada por variação de temperatura e, por isso, é base para vários termômetros)



Ebulição

(é o que acontece quando um líquido é aquecido a ponto de virar um gás)



Motor do automóvel

(que transforma calor de queima em trabalho mecânico)

**Tente também fazer uma lista de pelo menos 20 coisas ou situações, explicando uma possível relação com calor ou com temperatura.**

# 02

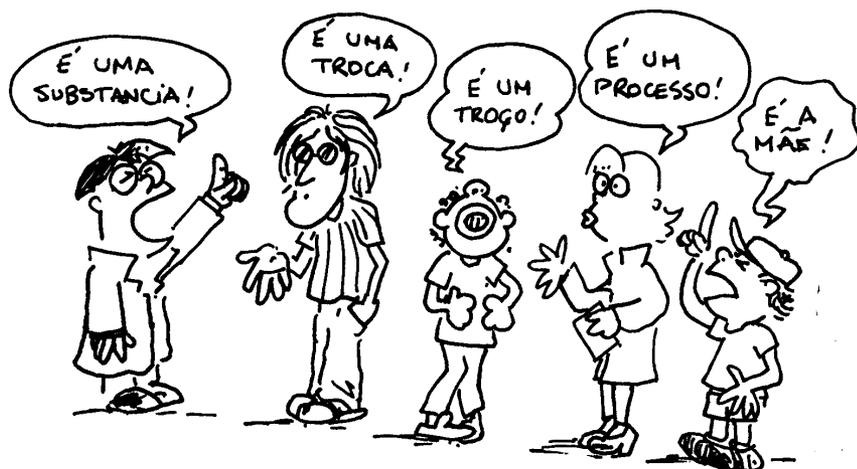
Esquentando os motores e preparando a rota.

Se tudo tem a ver com calor, por onde começar?

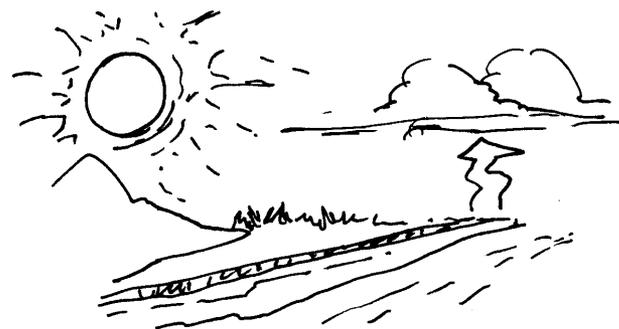
Calor e temperatura são a mesma coisa? Qual leva a qual? Qual vem primeiro?



O que é a chama?



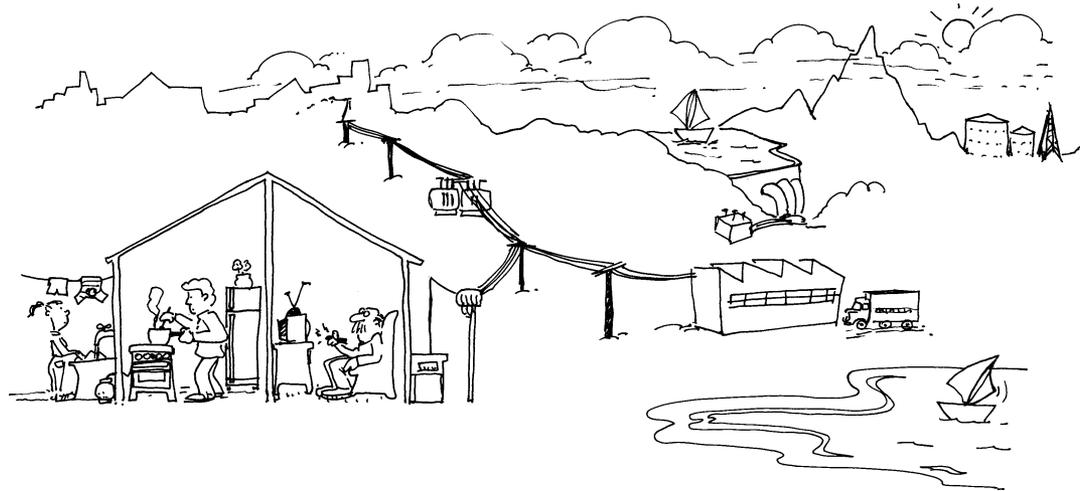
O combustível queima e "faz calor". Mas, como é que o calor faz trabalho?



Todo calor é energia? Toda energia é calor? E o trabalho o que é?



**Ao fim da leitura anterior, foi feita uma lista de coisas relacionadas com o calor e processos térmicos.**



**É possível agrupar estas coisas de muitas formas diferentes.**

fogo, grau celcius, secador, forno elétrico, derretimento, geladeira, forno de microondas, caloria, amor, resfriado, gelo, isopor, ferro quente, cobertor, chuva, vapor, sol, chapêu, radiação, queimadura, filtro solar, febre, lua, luz, motor, radiador, metal, madeira, álcool, fogão, gás, chuveiro, vulcão, água, ar, freezer, atrito, borracha, isopor, combustão, garrafa térmica, aquecimento, gêiser, termômetro, convecção, condução, gasolina, carvão, liquidificador, dilatação, ventilador, evaporação, calor, solidificação, lâmpada, bomba atômica, dissolução, vento, condensação, compressão dos gases, ebulição, fredda, fusão, martelada, nuvem, lagos, etc..

**Serve a ordem alfabética? ... gás, geladeira, queimadura, ... Pensando bem, acho que não!**

**Há coisas que produzem calor, como os combustíveis, o Sol, uma resistência elétrica. São uma categoria? Como chamá-las?**

**Roupas podem proteger do frio, isopor impede as trocas de calor, metais facilitam certas trocas. Isolantes e condutores térmicos, trocas térmicas são outra categoria?**

**Gelo é frio, vapor é quente, mas é tudo água. Classificar? Quente e frio ou mudança de estado?**

Trabalhando o levantamento e a classificação.

## Entre as muitas classificações possíveis vamos propor uma que será usada como roteiro para classificar a listagem de termodinâmica.

### 1) Medida e controle de temperatura.

Somos capazes de sentir o calor porque temos receptores na pele que detectam o aumento de energia térmica.

Para medir temperaturas construímos termômetros clínicos ou industriais que se baseiam na propriedade dos materiais dilatarem quando aquecidos.

O controle de temperatura feito pelos termostatos, que ligam e desligam circuitos, também se baseia na dilatação.

### 2) Fontes e trocas de calor.

Que o Sol é uma fonte de calor ninguém duvida. E os combustíveis? Mas, será que nós também podemos nos considerar uma fonte de calor? Como o calor do Sol chega até nós?

Sempre que algo puder ceder calor para a vizinhança pode ser considerado uma fonte de calor. As vezes entretanto precisamos impedir as trocas de calor que ocorrem por várias maneiras. O isopor, entre muitos outros é um material que evita a condução do calor.

### 3) Transformações térmicas.

Na natureza encontramos água em grande quantidade: no estado líquido, como sólido nas geleiras polares e como gás na atmosfera. O gelo, a água e o vapor d'água são estados diferentes de uma mesma substância.

Utilizando tecnologias específicas nós provocamos mudanças de estado nas substâncias sempre que necessário.

Transformações térmicas exercidas nos gases produzem variações de volume e pressão.

### 4) Máquinas térmicas.

Identificar um motor do carro como uma máquina térmica é habitual. Mas, e uma geladeira? Ela resfria alimentos.

E o organismo humano, pode ser classificado junto com um motor?

Os princípios em que se baseiam o funcionamento das máquinas térmicas são os mesmos que regem os fenômenos naturais; eles são universais.

É claro que muitas coisas podem ou não estarem presentes em várias categorias. Por exemplo, a água serve para controlar a temperatura no motor a explosão (1), troca calor com a vizinhança (2), muda de fase (3) e é a substância usada na turbina a vapor (4). A madeira, utilizada como isolante e combustível, se encontra na coluna de fontes e trocas de calor (2).

Medida e controle de temperatura.	Fontes e trocas de calor.	Transformações térmicas.	Máquinas térmicas.
forno	Sol	motor	geladeira
termômetro	madeira	água	motor
radiação	convecção	gases	turbina a vapor...
água ...	isopor	panela de pressão...	
	água ...		

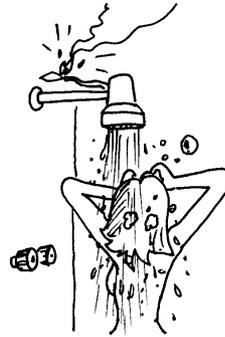
## Exercícios.

01) Observando as cenas ilustradas a seguir identifique as **coisas** relacionadas com calor de acordo com a sua interpretação da cena.

Utilizando  
uma lupa.



Um curto circuito.



Empurrando um  
carro.



TODAS ESSAS COISAS "CABEM" NA CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA?

02) Relendo as páginas anteriores tente classificar as **coisas** da sua lista da leitura 01, da leitura 02, das coisas da sua casa e das coisas vistas pela janela de um ônibus.

	Medidas e controle de temperatura	Fontes e trocas de calor	Transformações térmicas	Máquinas térmicas
da sua lista da leitura 01				
da sua lista da leitura 02				
das coisas da sua casa				
das coisas vistas pela janela de um ônibus				



## "Todas as coisas recebem e cedem calor o tempo todo."



A nossa experiência cotidiana nos mostra que quando há um contato direto entre dois objetos o mais quente cede calor para o mais frio, há uma **condução de calor**.

Havendo um fluido entre eles, geralmente o ar ou a água, também ocorre a troca pelo movimento das moléculas.

A água da parte superior da panela também se aquece. Neste caso dizemos que por **convecção**.

E QUANDO NÃO TEM NADA ENTRE OS OBJETOS? VOCÊ JÁ PENSOU DE QUE MANEIRA A LUZ E O CALOR DO SOL CHEGAM ATÉ NÓS? COMO SENTIMOS O CALOR DO SOL? COMO NOS PROTEJEMOS DO SEU CALOR TÃO INTENSO?

A luz do Sol atravessa milhares de quilômetros de espaço vazio, sem atmosfera, até chegar ao nosso planeta. Este processo de propagação é chamado de **radiação**.

Somos capazes de sentir o calor porque temos receptores na nossa pele que são ativados quando detectam o aumento de energia térmica.

Os receptores são órgãos microscópicos localizados na camada mais interna da pele. São sensíveis ao toque, à pressão, à dor e à temperatura.

Ao receberem um estímulo cada receptor específico, produz um impulso e o envia para o cérebro. É o cérebro que nos faz sentir dor, prazer, calor, etc..

Quando sentimos desconforto devido ao calor muito intenso nos abrigamos. Uma árvore, uma parede, um teto, bloqueiam a radiação solar.

Quase todos os bloqueadores da radiação térmica também não deixam passar a luz. Mas, é necessário tomar cuidado, o vidro se comporta de maneira diferente em relação à luz ou ao calor.

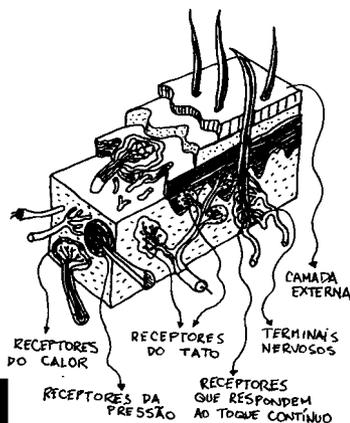


**O vidro bloqueia a luz? E a radiação térmica?**

Os filtros solares utilizados hoje para aumentar o tempo de exposição ao Sol também são bloqueadores de radiação solar. A nossa pele, que é um **sensor térmico**, necessita desta proteção.

As vezes utilizamos o tato para avaliar o quanto um objeto está quente e até mesmo o estado febril de uma pessoa. Entretanto a nossa sensação pode nos surpreender, como pode ser verificado na próxima atividade.

### Corte da nossa pele.



**Coloque uma das mãos numa vasilha com água quente e a outra numa vasilha com água fria. Se as duas mãos forem colocadas posteriormente numa terceira vasilha com água morna, esta mesma água provocará uma sensação diferente em cada mão.**



**A água morna parecerá fria para a mão que estava quente e quente para a mão que estava fria.**

SE OS NOSSOS SENTIDOS "MENTEM", O QUE PODERIA SER USADO PARA SE QUANTIFICAR O "QUENTE" OU O "FRIO"? COMO DETERMINAR A TEMPERATURA DE UM OBJETO?

# Medidas e controle de temperatura.

Há propriedades dos materiais que podem ser usadas para estabelecer e medir temperaturas, como a cor da luz emitida pelo filamento aquecido de uma lâmpada ou a dilatação do mercúrio dentro de um tubo de vidro.

## Um efeito do aquecimento: dilatação.

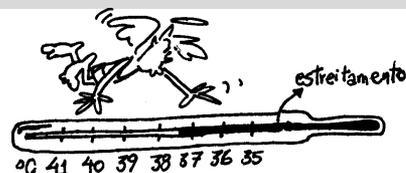
O piso das calçadas, os trilhos de linhas de trem, as vigas de concreto de construções como pontes e edifícios, como tudo mais se dilatam. Sendo estruturas grandes e expostas ao Sol, devem ter vãos para acomodar dilatações prevendo este efeito do aquecimento e evitando que provoque rachaduras. Nas calçadas, por exemplo, estas "folgas" costumam ser preenchidas por grama ou tiras de madeira, em pontes são simplesmente fendas livres e em edifícios são fendas livres ou preenchidas por fitas de borracha.

Todos os objetos sólidos, líquidos ou gasosos, quando aquecidos se dilatam, ou seja, aumentam de volume. Esta propriedade dos materiais pode ser usada para medir temperaturas.

Os termômetros que usamos para verificar febre são construídos com um fino tubo de vidro ligado a um pequeno bulbo lacrado cheio de mercúrio ou de álcool. Quando esfriado, o líquido se contrai e seu nível desce no capilar; quando é aquecido, ocorre o contrário.

Tanto o mercúrio como o álcool são líquidos que, mais do que a água, mesmo para um pequeno aquecimento, se dilatam visivelmente mais que o vidro. Por isso, são escolhidos para a construção de termômetros. Se fosse com água, precisaríamos de um grande volume. Imagine a inconveniência de se usar um termômetro desses para medir febre!

A escala graduada no vidro dos termômetros clínicos mede temperaturas que vão de 35°C a 41°C aproximadamente

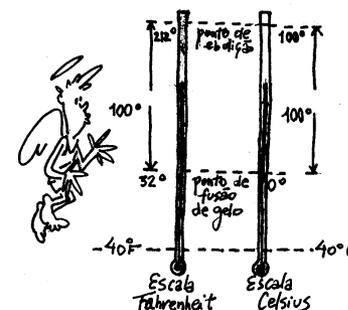


## A escala Celsius.

Para se conseguir que termômetros diferentes marquem a mesma temperatura nas mesmas condições, é necessário se estabelecer um padrão comum para eles, uma escala termométrica. Na escala Celsius são escolhidas duas referências: uma é a temperatura de fusão do gelo e a outra é a da ebulição da água.

Essas temperaturas são tomadas como referência pois, durante as mudanças de estado de qualquer substância a temperatura permanece constante.

Na escala Celsius o zero é atribuído para a temperatura do gelo fundente e o cem para a temperatura da água em ebulição. Para completar a definição dessa escala termométrica, é só graduar o intervalo entre 0 e 100 em cem partes iguais, cada divisão correspondendo a 1°C. É por isso que a escala Celsius é uma escala centígrada. Com os termômetros clínicos avaliamos temperaturas com precisão de até décimos de grau. Em média, as pessoas têm sua temperatura normal de aproximadamente 36°C, enquanto que a 38°C já está certamente febril.



## A escala Fahrenheit.

Outra escala que ainda é usada em países de língua inglesa é a escala Fahrenheit em que o zero (0°F) foi escolhido para a temperatura de um certo dia muito frio na Islândia e o cem (100°F) para a temperatura média corporal de uma pessoa. Nessa escala, a temperatura de fusão do gelo corresponde, a 32°F e a temperatura de ebulição da água a 212°F. O intervalo é dividido em 180 partes, cada uma correspondendo a 1°F.

Veja no esquema ao lado a correspondência entre as duas escalas.

MAS, COMO ESSES VALORES SÃO ATRIBUÍDOS À ESCALA?

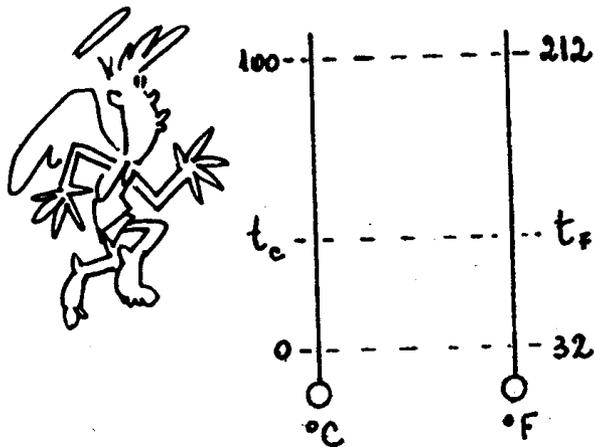
## Mudando de escala...

**3.1-** Será que a temperatura de 100°F corresponde mesmo à temperatura de 36°C que é o valor considerado normal para temperatura corporal?

### Resolução:

Ao compararmos as duas escalas, Celsius e Fahrenheit buscamos uma correspondência entre seus valores a partir dos comprimentos das colunas de líquido das duas escalas.

Uma certa temperatura  $t_C$  em que graus Celsius corresponde a uma temperatura  $t_F$  em graus Fahrenheit.



A razão entre os segmentos  $\frac{t_C - 0}{100 - 0}$  para a escala

Celsius é a mesma que a razão  $\frac{t_F - 32}{212 - 32}$  para a escala

Fahrenheit. Portanto:

$$\frac{t_C - 0}{100 - 0} = \frac{t_F - 32}{212 - 32}$$

$$\frac{t_C}{100} = \frac{t_F - 32}{180}$$

$$\frac{t_C}{5} = \frac{t_F - 32}{9}$$

Através desta expressão você pode converter qualquer temperatura de uma escala para outra. Convertendo a temperatura de 100°F para a escala Celsius você encontra:

$$\frac{t_C}{5} = \frac{100 - 32}{9}$$

$$t_C \cong 38^\circ\text{C}$$



Como você vê, a pessoa cuja temperatura foi tomada como referência estava um pouco febril, naquele dia.

**3.2-** A temperatura de 0°F foi tomada como referência em um dia muito frio. Determine essa temperatura em graus Celsius.

**3.3-** Você mesmo pode elaborar uma escala termométrica. Para isso, basta escolher um número para a temperatura de fusão do gelo e outro para a temperatura de ebulição da água. Em seguida, você pode relacionar a sua escala com a escala Celsius do mesmo modo que já realizamos.

**3.4-** Você encontra para comprar dois termômetros, ao mesmo custo, que contêm a mesma quantidade de mercúrio: um com um tubo longo e fino e o outro, um tubo curto e de diâmetro maior. Qual deles você preferiria? Explique porque.

**3.5-** A esterilização de instrumentos cirúrgicos que antes era feita em banho de vapor hoje é feita em estufas apropriadas. Por que não é possível esterilizar um termômetro clínico da mesma maneira? Que método você proporia para fazê-lo?

# 04

## Controle de temperatura.

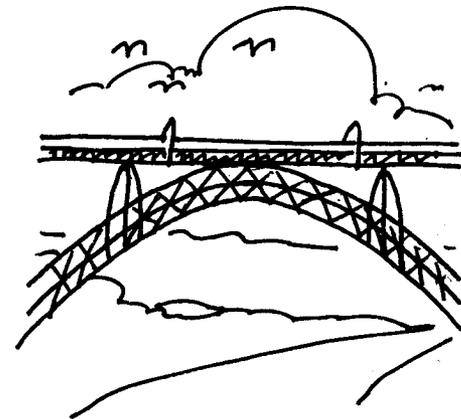
Temperaturas muito altas ou muito baixas requerem dispositivos específicos para seu controle.

A nossa volta encontramos "coisas" que estão a temperaturas bastante altas como um forno, ou muito baixas como o interior de um freezer. Para medir e controlar temperaturas tão diferentes utilizamos algumas propriedades dos materiais.



- um material aquecido emite luz colorida ao atingir uma certa temperatura;

- ele dilata de modo típico;



- se for um gás, dilata muito mais.

# 04 Controle de temperatura.

À QUE TEMPERATURA ESTÃO AS COISAS À NOSSA VOLTA? QUAIS DELAS ATINGEM UMA TEMPERATURA MUITO ALTA? E UMA TEMPERATURA MUITO BAIXA?



Um ferro elétrico por exemplo, pode ser regulado para passar seda, algodão ou linho, funcionando a diferentes temperaturas.

Veja na tabela alguns valores de temperatura de algumas regiões do nosso "universo térmico". Você vai identificar "coisas" presentes no esquema da leitura anterior.

**Tabela 4.1**

"Coisas" ou situações	Temperatura (C)
fotosfera solar	5700
fusão do tungstênio	3380
filamento de uma lâmpada	2500
forno metalúrgico	4000
forno doméstico	400
interior da geladeira	5
interior do congelador	-5
interior do freezer	-20
dia bem quente	de 30 para cima
dia bem frio	de 10 para baixo

O filamento de tungstênio da lâmpada incandescente quando ligada, tem sua temperatura variando de cerca de 20°C para 2500°C. Nesta temperatura o filamento emite luz.

Se você aproximar sua mão de uma lâmpada incandescente ou de um ferro elétrico será possível afirmar se eles estão ligados ou não, mesmo estando de olhos fechados, graças aos receptores térmicos de sua pele.

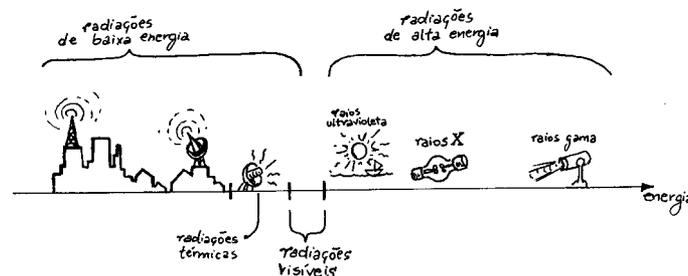
Já olhando à distância, você consegue perceber se uma lâmpada está acesa, mas não consegue perceber se um ferro elétrico está quente ou não.

Entretanto, se você deixar um ferro elétrico ligado na temperatura máxima durante um certo tempo num quarto escuro será possível "ver" a luz vermelha emitida pelo ferro aquecido. Algo semelhante acontece nas resistências de fornos e aquecedores elétricos.

O tungstênio, o ferro e outros metais, quando aquecidos, emitem energia que chamamos de **radiação térmica**. Se a intensidade da energia emitida for próxima a da luz visível, conseguimos "ver" a radiação.

A radiação térmica é parte de um conjunto de radiações chamado de **espectro de radiação**.

No diagrama de energia abaixo, mostramos a posição das diversas radiações do espectro.



A região das radiações visíveis engloba desde a cor vermelha próxima às radiações térmicas até a cor violeta de maior energia.

A luz do Sol emitida pela sua camada exterior, **fotosfera solar**, é a parte visível da radiação solar que chega até nós. A radiação solar contém, grande parte do espectro de radiação.

## Medidores e dispositivos de controle.

Em função da necessidade de conforto ou até mesmo de sobrevivência utilizamos os diferentes materiais e suas propriedades para controlar a temperatura de aparelhos ou sistemas térmicos.

Se um alimento é cozido em panela com água sabemos que sua temperatura não ultrapassa 100°C. Se ele estiver numa frigideira com óleo quente sua temperatura, com certeza, supera 100°C pois o óleo atinge temperaturas maiores que esta antes de ferver.

## Medida e controle de temperatura.

Se você estiver em regiões geladas sabe que a temperatura é igual ou inferior a  $0^{\circ}\text{C}$ .

Os aparelhos como condicionadores de ar ou geladeiras têm suas temperaturas controladas por termostatos a gás que são dispositivos que ligam e desligam seus motores.

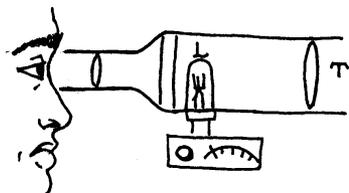
Os ferros de passar roupas ou torradeiras elétricas têm suas temperaturas controladas por outro tipo de termostato - nesses casos é uma lâmina bimetálica que se contrai ou expande, abrindo ou fechando um circuito elétrico.

Na tabela, algumas temperaturas são muito mais altas do que as que estamos acostumados a encontrar. *Que tipo de termômetro pode medir a temperatura do filamento de uma lâmpada ou da fotosfera solar?* Essas temperaturas são tão altas que os termômetros comuns não conseguem medir e também derretem. Para medir altas temperaturas são usados **pirômetros ópticos**.

### Pirômetro Óptico.

Quando um pedaço de ferro é aquecido, a partir de uma certa temperatura começa a emitir luz, a princípio vermelha depois laranja, amarela e finalmente branca.

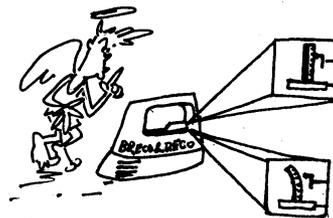
O funcionamento de um pirômetro óptico se baseia nessa propriedade dos materiais. Ele possui uma lâmpada de filamento cujo brilho pode ser aumentado ou diminuído pelo operador do aparelho que aciona um circuito elétrico. A cor do filamento dessa lâmpada tomada como referência e previamente calibrada é comparada com o interior de um forno ou com outra lâmpada permitindo assim, à distância, determinar sua temperatura.



Os filamentos das lâmpadas incandescentes, quando estão emitindo luz branca, estão à temperatura aproximada de  $2500^{\circ}\text{C}$ .

### Par bimetálico.

Para controlar temperaturas da ordem de algumas centenas de graus como a de fornos domésticos ou ferros elétricos, por exemplo, são usados termostatos em sua construção.



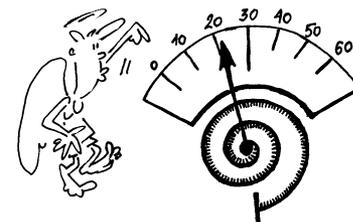
Um tipo de termostato é o construído com lâminas bimetálicas (duas lâminas de metais diferentes firmemente ligadas) que, quando aquecidas ou resfriadas se dilatam ou se contraem encurvando-se ou endireitando-se, abrindo ou fechando circuitos elétricos. Isto ocorre porque cada metal tem uma dilatação típica.

Alguns medidores de temperatura usados em carros são constituídos de uma lâmina bimetálica enrolada em forma de espiral com mostrador. Neste caso uma das extremidades da lâmina é fixa e a outra está acoplada a um ponteiro.

O aquecimento faz com que a espiral bimetálica se altere, movendo o ponteiro e indicando o valor da temperatura.

Em temperaturas muito baixas o controle de temperatura pode ser realizado com maior eficácia usando-se os termostatos que se baseiam na expansão de um gás, como os usados nas geladeiras, por exemplo.

Quando ocorre aumento de temperatura no interior da geladeira, o gás contido no capilar do termostato expande fechando o circuito elétrico que liga o motor. Quando a temperatura no interior da geladeira atinge o valor pré estabelecido pelo botão de regulagem, o gás se contrai permitindo que a pressão da mola abra o circuito elétrico interrompendo o funcionamento do motor.



## Para fazer.

01) Você pode conseguir numa oficina mecânica ou ferro velho um termostato de radiador de automóvel.

Coloque-o numa vasilha com água quente para observar a válvula se abrir.



QUE VOCÊ ESPERA QUE VAI ACONTECER AO RETIRÁ-LO DA  
ÁGUA?

É por esse processo que a água que circula ao redor dos cilindros dos motores depois de aquecida, ao atingir a temperatura pré determinada, volta ao radiador para ser resfriada e reutilizada.

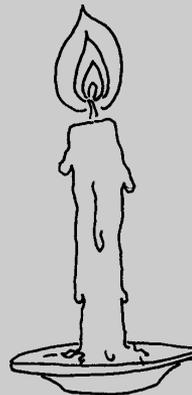
02) Em lojas de conserto de eletrodomésticos você pode encontrar um termostato de aquecedor elétrico. Aproximando-o e afastando-o da chama de um isqueiro você pode perceber o "liga e desliga" quando os metais do termostato se aquecem e se resfriam.

Obs: Cuidado para não se queimar e ... não desmonte o aquecedor novo de sua mãe.

## Acenda uma vela para...

Quando observamos uma lâmpada incandescente, percebemos que a luz produzida é branco-amarelada, e dificilmente conseguimos ver outras cores. Já a observação da chama de uma vela pode nos revelar que a luz emitida por ela possui cores diferentes.

Olhando para a chama de uma vela e dispendo da tabela que relaciona cores com temperatura, você pode avaliar a temperatura das regiões da chama.



CORES	TEMPERATURA
castanho	de 520°C a 650°C
vermelho	de 650°C a 1050°C
amarelo	de 1050°C a 1250°C
branco/azulado	acima de 1250°C

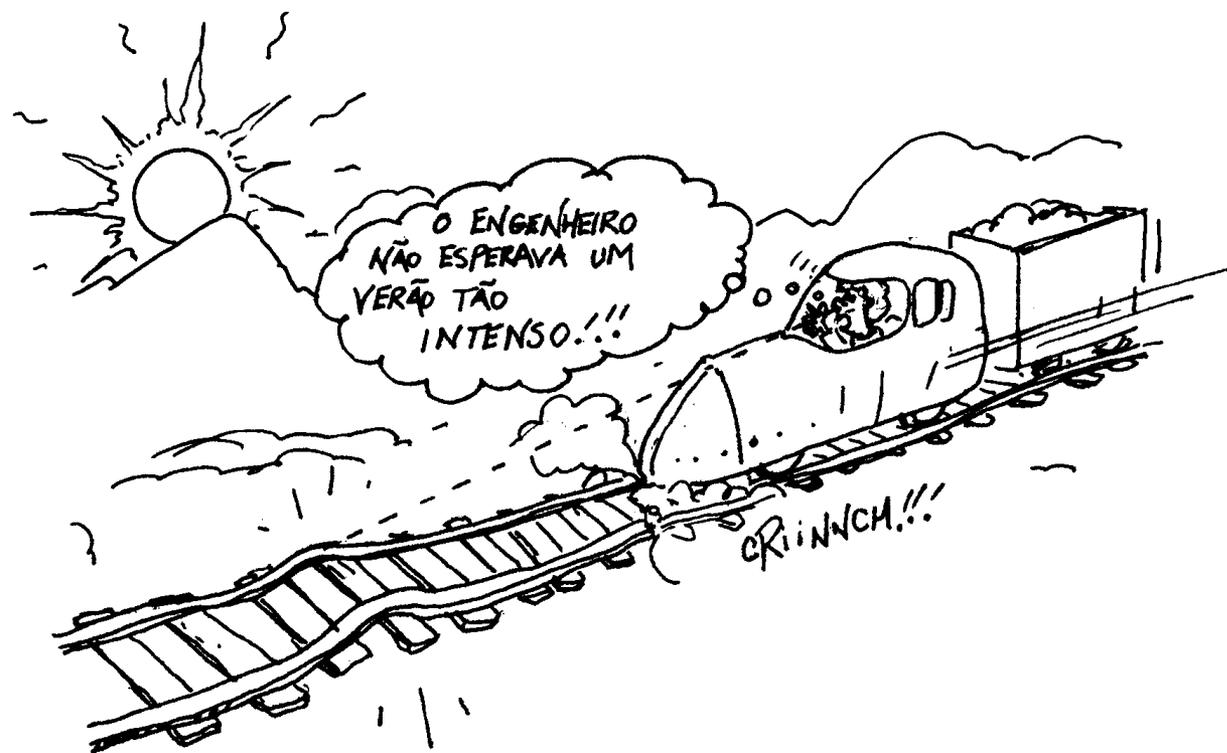
Você agora conhece a temperatura da chama de uma vela mas ainda não sabe responder o que é a chama.

Calma! A gente chega lá...

# 05

## Calculando a dilatação.

Podemos calcular exatamente quanto dilata um material que sofre aquecimento.



Os engenheiros evitam acidentes como esses ao prever as dilatações que os materiais vão sofrer, deixando folgas nos trilhos das linhas de trem.

Nas construções civis as juntas são feitas com material que permite a dilatação do concreto.

Observe na sua casa, escola e praças os recursos utilizados pelos construtores para evitar rachaduras.

Descarrilhamento de trens, rachaduras no concreto, são alguns dos problemas que a dilatação dos materiais causam na construção civil.

Por outro lado, é a dilatação que facilita o trabalho de um ferreiro.



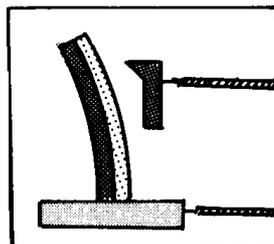
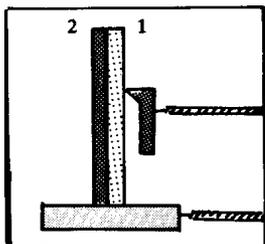
Na fabricação de rodas de carroça e barris por exemplo, os aros metálicos são aquecidos ao fogo, e dilatados são facilmente colocados. Ao esfriar, o metal se contrai e os aros ficam bem justos e firmes na madeira das rodas ou dos barris.

Não são só os sólidos que se dilatam quando aquecidos, os líquidos dilatam-se mais que os sólidos, e os gases mais ainda; sendo por isso utilizados nas construções dos termômetros.

Entre as substâncias encontramos algumas exceções. A água, por exemplo, quando aquecida de zero a 4°C se contrai e quando resfriada abaixo de zero se dilata. Essa particularidade garante que só a superfície dos lagos se congele.

**Com a leitura 15 você entenderá porque os lagos de regiões de inverno rigoroso conservam água abaixo do gelo.**

A dilatação é sempre volumétrica; as substâncias se dilatam nas três dimensões: comprimento, largura e altura. A propriedade de cada material se dilatar de uma maneira típica é que permite a construção dos pares bimetálicos. Um material dilatando-se mais que o outro provoca a curvatura do dispositivo que liga e desliga os circuitos como vimos na leitura anterior.



A tabela a seguir nos fornece o **coeficiente de dilatação volumétrica** de alguns materiais.

**O coeficiente de dilatação volumétrica representa o volume dilatado (em cm<sup>3</sup> ou m<sup>3</sup>, etc.) para uma unidade de volume (em cm<sup>3</sup> ou m<sup>3</sup>, etc.) inicial do material ao ser aquecido de 1°C.**

**Tabela 5.1 : Coeficiente de dilatação volumétrica.**

Substância	T(°C)	Coef. de dil. Vol. (°C <sup>-1</sup> )
aço	0 - 100	31,4 x 10 <sup>-6</sup>
água	20	210 x 10 <sup>-6</sup>
álcool	0 - 60	1100 x 10 <sup>-6</sup>
alumínio	20 - 100	71,4 x 10 <sup>-6</sup>
cobre	25 - 100	50,4 x 10 <sup>-6</sup>
ferro	18 - 100	34,2 x 10 <sup>-6</sup>
gelo	20 - 0	153 x 10 <sup>-6</sup>
invar (Fe, Ni)	20	2,7 x 10 <sup>-6</sup>
madeira	20	90 x 10 <sup>-6</sup>
mercúrio	0 - 100	182 x 10 <sup>-6</sup>
ouro	15 - 100	42,9 x 10 <sup>-6</sup>
prata	15 - 100	56,7 x 10 <sup>-6</sup>
superinvar (Fe, Ni, Cr)	20	0,09 x 10 <sup>-6</sup>
tungstênio	20	12 x 10 <sup>-6</sup>
vidro comum	0 - 100	27 x 10 <sup>-6</sup>
vidro pirex	20 - 100	9,6 x 10 <sup>-6</sup>

Pela tabela se constata que o coeficiente de dilatação da água no estado líquido é maior do que no estado sólido. No estado gasoso este coeficiente é cerca de 17 vezes maior do que no líquido.

$$\gamma_{\text{vapor de água}} = 3663 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = \frac{1}{273} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Esse valor de coeficiente de dilatação volumétrica é o

$$\gamma = \frac{1}{273} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ é o mesmo para todos os gases.}$$

## Medida e controle de temperatura.

A **dilatação volumétrica** ( $\Delta V$ ) sofrida por uma substância de **coeficiente de dilatação volumétrica**  $\gamma$  é proporcional ao produto do **volume inicial** ( $V_0$ ) e da **variação de temperatura** ( $\Delta T$ ). Matematicamente podemos representar a dilatação e o coeficiente de dilatação volumétrica como:

$$\Delta V = \gamma V_0 \Delta T \Rightarrow \gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T}$$

Á DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA É DIRETAMENTE PROPORCIONAL  
AO VOLUME INICIAL E A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA.

Caso você tenha um fio bem fino e longo, por exemplo, e queira calcular a dilatação de seu comprimento, considere que a dilatação em uma só dimensão depende de um **coeficiente de dilatação linear** equivalente a 1/3 do valor encontrado na tabela, que é de dilatação volumétrica.

Assim, a **dilatação linear** é calculada através da relação:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \Rightarrow \alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$$

Onde:

$\Delta L$  = variação do comprimento

$L_0$  = comprimento inicial

$\Delta T$  = variação de temperatura

$\alpha$  = coeficiente de dilatação linear

As vezes só nos interessa a dilatação de uma superfície do material. Neste caso levamos em conta duas dimensões e utilizando o **coeficiente de dilatação superficial** que é equivalente a 2/3 do coeficiente de dilatação volumétrica. A equação pode ser escrita da seguinte forma:

$$\Delta S = \beta S_0 \Delta T \Rightarrow \beta = \frac{\Delta S}{S_0 \Delta T}$$

Onde:

$\beta$  = coeficiente de dilatação superficial

$\Delta S$  = variação da área

$S_0$  = área inicial

$\Delta T$  = variação de temperatura

## É um problema de adaptação???

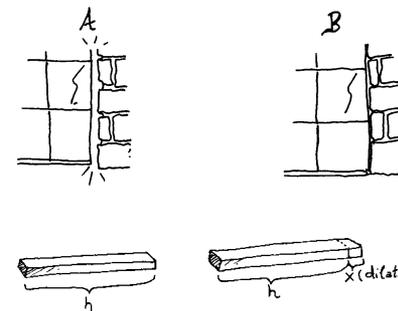
**01)** Ao lavar pratos e copos, você verifica que as vezes um copo fica "grudado" dentro de outro não sendo possível separá-los facilmente. Sugira um método simples de fazê-los soltar um do outro sem perigo de quebrá-los.

**02)** Quando é que o pistão de alumínio do seu carro se adapta mais justamente ao cilindro de aço, quando ambos estão quentes ou quando ambos estão frios? Explique.

**03)** A platina é o metal utilizado para confecção de amálgama dentário. Seu coeficiente de dilatação volumétrica é  $27 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Compare esse coeficiente com o dos demais metais e discuta o porque dessa escolha.

Os vãos deixados em construções ficam maiores no inverno.

DILATAÇÃO



Inverno

Verão

## Exercícios.

**5.1-** Um prédio de 100m, com uma estrutura de aço tem um vão de 10 cm previsto pelo engenheiro. Que variação de temperatura esse vão permite sem risco para o prédio?

### Resolução:

O coeficiente de dilatação volumétrica do aço é:

$$31,5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Considerando apenas a dilatação do comprimento da estrutura, usaremos o coeficiente de dilatação linear que vale:

$$\frac{1}{3} \times 31,5 \times 10^{-6} = 10,5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Como a dilatação linear  $\Delta L = 10\text{cm}$ , o coeficiente de dilatação linear  $\alpha = 10,5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  e o comprimento  $L_0 = 100\text{m} = 10^4 \text{ cm}$ .

$$\Delta T = \frac{\Delta L}{L_0 \alpha} = \frac{10}{10^4 \times 10,5 \times 10^{-6}} \cong 95^\circ\text{C}$$

Como você pode ver, o engenheiro foi previdente até demais.

**5.2-** Você dispõe de um litro de água e outro de álcool dotados de tubos capilares de  $1\text{mm}^2$ , bem longos colocados nas rolhas.

Sabendo que os coeficientes de dilatação da água e do álcool valem respectivamente:  $\gamma_{\text{água}} = 210 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

e  $\gamma_{\text{álcool}} = 1100 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , determine a altura da coluna de cada líquido quando a variação de temperatura for de  $10^\circ\text{C}$ .

### Resolução:

Antes de tudo vamos expressar o volume de 1litro em  $\text{mm}^3$ .

$$1\text{l} = 1\text{dm}^3 \text{ e } 1\text{dm} = 10^2\text{mm}$$

Portanto:

$$1\text{l} = 1\text{dm}^3 = (10^2)^3 \text{ mm}^3 = 10^6 \text{ mm}^3$$

Como:  $\Delta V = \gamma V_0 \Delta T$

$$\Delta V_{\text{água}} = 10^6 \times 210 \times 10^{-6} \times 10 = 2100\text{mm}^3$$

$$\Delta V_{\text{álcool}} = 10^6 \times 1100 \times 10^{-6} \times 10 = 11000\text{mm}^3$$

Como a área da secção reta do capilar é de  $1\text{mm}^2$ , a altura  $h$  é numericamente igual ao volume.

Assim, a altura da coluna de água vale  $2100\text{mm} = 2,10\text{m}$  e a de álcool vale  $11000\text{mm} = 11\text{m}$ .

Imagine o transtorno se você quisesse medir febre com um termômetro desses!

**5.3-** Um mecânico pretende soltar um parafuso de ferro que está emperrado em uma porca de invar (liga de ferro com níquel). Qual deveria ser o procedimento do mecânico?

**5.4-** Um posto recebeu 5000 litros de gasolina num dia em que a temperatura era de  $35^\circ\text{C}$ . Com a chegada de uma frente fria, a temperatura ambiente baixou para  $15^\circ\text{C}$ , assim permanecendo até que a gasolina fosse totalmente vendida. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação da gasolina é  $1,1 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , calcule em litros o prejuízo sofrido pelo dono do posto.

**5.5-** Explique porque travessas de vidro comum não podem ir ao forno e as de vidro pirex podem.

**Portas de armários que ficam "emperradas" no verão, abrem sozinhas no inverno.**

