



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**CENTRO DE INOVAÇÃO - INOVA USP**  
Curso de Ciências Moleculares



ALICE ALVES BOZZI  
BRUNA RODRIGUES DA SILVA  
LUIZA LUCCHETTI ODDI LOURENÇO

**RELATÓRIO Nº6 DE AULA PRÁTICA:**  
Fenômenos térmicos e gases

SÃO PAULO,  
2025

ALICE ALVES BOZZI  
BRUNA RODRIGUES DA SILVA  
LUIZA LUCCHETTI ODDI LOURENÇO

**Nota: 10/10**

**RELATÓRIO Nº6 DE AULA PRÁTICA:**

Fenômenos térmicos e gases

Relatório referente à aula prática ministrada no dia 19/05/2025 na disciplina CCM0122 - Física II do Curso de Ciências Moleculares da Universidade de São Paulo, na modalidade de bacharelado, como requisito parcial avaliativo para aprovação semestral.

**Orientador:** Prof. Dr. Caetano Rodrigues Miranda

SÃO PAULO,  
2025

## SUMÁRIO

|          |                                    |           |
|----------|------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>             | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS.....</b>              | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>    | <b>5</b>  |
|          | 1. Termoscópio de Galileu;.....    | 5         |
|          | 2. Termômetro de Galileu;.....     | 5         |
|          | 3. Higrômetro (psicrômetro);.....  | 6         |
|          | 4. Anel de Gravesande;.....        | 7         |
|          | 5. Par bimetálico;.....            | 8         |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b> | <b>9</b>  |
|          | 1. Termoscópio de Galileu;.....    | 9         |
|          | 2. Termômetro de Galileu;.....     | 10        |
|          | 3. Higrômetro (psicrômetro);.....  | 11        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>              | <b>13</b> |
| <b>6</b> | <b>REFERÊNCIAS.....</b>            | <b>14</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O fenômeno de dilatação térmica corresponde à variação que ocorre nas dimensões de um corpo quando submetido a uma variação de temperatura. De uma maneira geral, os corpos aumentam suas dimensões quando sofrem  $\Delta T > 0$ , porque as partículas que compõem o material tendem a vibrar mais rapidamente e ocupar mais espaço à medida que a temperatura aumenta. Por outro lado, quando a temperatura diminui ocorre a contração térmica. Neste caso, as partículas vibram menos e se aproximam umas das outras, fazendo com que o material contraia.

Considerando um corpo sólido sobre o qual  $\Delta T$  atua, a dilatação sofrida pelo mesmo pode ser linear, superficial ou volumétrica, cada uma regida por uma equação específica:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Equação 1: Equação da dilatação linear.

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$$

Equação 2: Equação da dilatação superficial.

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

Equação 3: Equação da dilatação volumétrica.

Onde, idealmente,  $\beta = 2\alpha$  e  $\gamma = 3\alpha$ . Essa relação é uma consequência direta das propriedades dos corpos sólidos, que possuem 3 dimensões bem definidas. Em contrapartida, se considerarmos um corpo líquido que sofre  $\Delta T$ , é natural que seu volume aumente, tal como o de um corpo sólido. Entretanto, como líquidos não possuem formas definidas, e se moldam na forma do recipiente, não faz sentido tratar de dilatação linear ou superficial de líquidos, apenas dilatação volumétrica.

A dilatação dos gases, por sua vez, também corresponde a uma variação volumétrica, mas é regida por leis específicas aos mesmos, em geral vale a relação de proporcionalidade:

$$P \cdot \Delta V \propto nR\Delta T$$

Equação 4: Equação dos gases.

O estudo da termodinâmica também abrange o princípio do Equilíbrio Térmico; que determina que dois corpos irão trocar calor entre si até que atinjam a mesma temperatura, quando isso ocorre é dito que eles estão em equilíbrio térmico.

## 2 OBJETIVOS

Este relatório tem como objetivo analisar e discutir qualitativamente os experimentos: termoscópio de Galileu, termômetro de Galileu, higrômetro, anel de Gravesande e par bimetálico; descrevendo o princípio físico de funcionamento de cada um e qual foi a ordem de grandeza medida. Ao final dessas análises, objetivou-se avaliar as vantagens e as desvantagens em cada método.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 1. Termoscópio de Galileu;

O experimento é composto por uma esfera oca de vidro conectada a um tubo também de vidro e um recipiente, contendo água com corante azul, como mostra a Figura 1. Para a observação do fenômeno, aqueceu-se a esfera ao envolvê-la com as mãos.



Figura 1: Aparato experimental do termoscópio de Galileu.

Fonte: Autores.

### 2. Termômetro de Galileu;

O experimento consiste em um tubo de vidro preenchido por álcool, contendo corpos de vidro imersos, calibrados um a um para que eles afundem ou flutuem de acordo com a temperatura, como mostra a Figura 2.

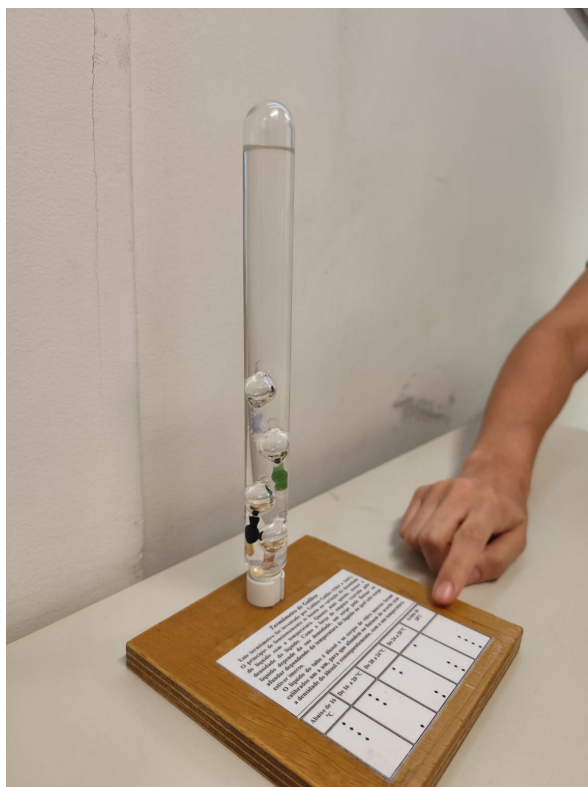


Figura 2: Termômetro de Galileu.

Fonte: Autores.

### 3. Higrômetro (psicrômetro);

No experimento foi utilizado um higrômetro, aparelho constituído por dois termômetros, mostrado na Figura 3. Um dos termômetros tem sua extremidade embebida num pano úmido, com água; o outro fica com a extremidade livre, em contato com o ar. O primeiro termômetro, de bulbo úmido, mede a temperatura do líquido o qual está imerso, enquanto o outro, de bulbo seco, mede a temperatura do ar. Entre os termômetros havia uma tabela de temperatura, que indicava umidade relativa do ar.

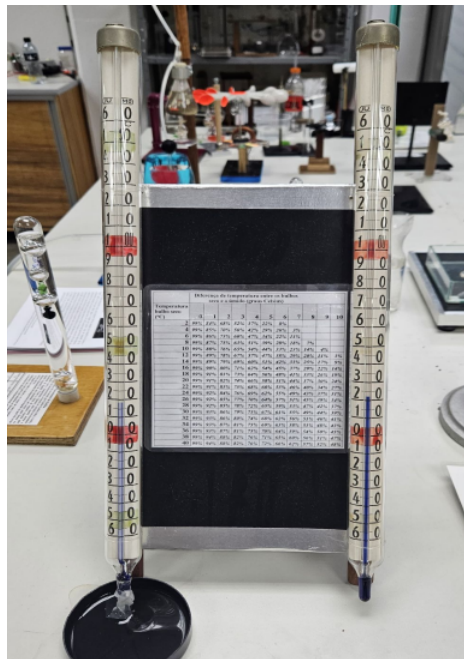


Figura 3: Higrômetro; bulbo úmido à esquerda, e bulbo seco à direita.

Fonte: Slides de aula.

Na sala de aula em que o experimento foi realizado, foram analisadas as marcações de ambos os termômetros; isso permitiu aferir, consultando a tabela, a umidade relativa do ar da sala. A observação do higrômetro e o teste de seu funcionamento prático permitiu a descoberta dos princípios físicos segundo os quais ele opera.

#### 4. Anel de Gravesande;

O aparato, mostrado na Figura 4A, consiste em uma esfera metálica acoplada a uma corrente e um suporte com um anel de metal fixo, cuja abertura tem diâmetro praticamente igual ao da esfera a temperatura ambiente. Inicialmente, a esfera foi posicionada sobre o anel para verificar se ela passava livremente através do orifício. Em seguida, utilizando-se de uma pequena lamparina de álcool como fonte de calor, como mostra a Figura 4B, a esfera foi aquecida diretamente por alguns minutos, assegurando que o calor fosse devidamente transmitido ao corpo, garantindo o aquecimento uniforme de toda a sua superfície metálica. Após o aquecimento, a tentativa de fazer a esfera passar novamente pelo anel foi repetida.



Figura 4: A: Esfera antes de ser aquecida ; B: Esfera sendo aquecida.

Fonte: Autores.

A seguir, a esfera foi resfriada naturalmente ao ar, voltando lentamente à sua temperatura inicial devido ao equilíbrio térmico. A passagem da esfera através do anel foi então testada mais uma vez. Durante o experimento, foram feitas observações visuais e táteis, acompanhadas de anotações qualitativas sobre o comportamento da esfera em cada etapa do processo (temperatura ambiente, aquecimento e resfriamento).

##### 5. Par bimetálico;

No experimento, foi utilizado um aparato constituído de pedaços de metal ligados um ao outro, por meio de uma espécie de alavanca. Há uma folha de metal circular, com sua extremidade ligada a uma alavanca também de metal, que por sua vez tem sua outra extremidade ligada a um ponteiro verde, como pode ser observado na Figura 5.

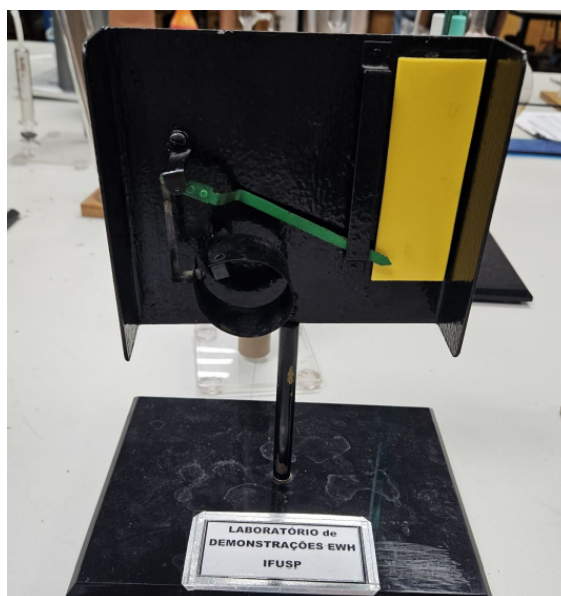


Figura 5: Par bimetálico.

Fonte: Slides de aula.

O experimento consistiu em aquecer, com um isqueiro, a parte de baixo do metal circular. Após ser aquecido por alguns segundos, observou-se como o aumento de temperatura do metal de baixo influencia o aparato, caso ocorra um movimento visível de suas partes.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 1. Termoscópio de Galileu;

O termoscópio funciona a partir da expansão e contração térmica do ar aprisionado. Quando aquecido, o ar na esfera se expande e esta variação no volume do ar exerce pressão sobre a coluna de líquido no tubo estreito, forçando-a a descer. Quando se retira a mão e a esfera resfria, o ar comprime-se, criando uma redução da pressão dentro da esfera em relação à pressão atmosférica que atua sobre a superfície do líquido no reservatório. Como resultado, a pressão atmosférica empurra o líquido para cima no tubo, até que a pressão exercida pela coluna de líquido e pelo ar remanescente na esfera equilibra a pressão atmosférica. Fisicamente, o experimento demonstra a variação de pressão e volume em função da temperatura, dada pela lei dos gases ideais :  $PV = nRT$ .

Em relação a ordem de grandeza do experimento, o termoscópio de Galileu não pode prever um valor de calor ou temperatura - somente indicar que houve uma mudança com mudanças na altura da coluna d'água - mas pode-se imaginar que no experimento houve uma mudança de temperatura de ordem 1.

Portanto, o termoscópio mostrou-se um ótimo antecessor ao termômetro, sendo um bom instrumento para aferir uma mudança de temperatura, mas incapaz de fornecer seus valores absolutos.

## 2. Termômetro de Galileu;

O termômetro de Galileu baseia-se no Princípio de Arquimedes e na expansão térmica dos líquidos. Segundo Arquimedes, um corpo submerso num fluido experimenta uma força de empuxo igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo, com sentido contrário. Se a força de empuxo for maior que o peso do objeto, ele flutua. Se for menor, ele afunda. Se forem iguais, o objeto fica em suspensão. Quando a temperatura aumenta, o líquido sofre dilatação térmica, conforme a relação:  $\Delta V/V = \beta \cdot \Delta T$ , onde  $\beta$  é o coeficiente de dilatação volumétrica. Isso faz com que o volume do líquido aumente, reduzindo sua densidade ( $\rho = m/V$ ). Cada corpo de vidro dentro do termômetro possui uma densidade calibrada. Quando a densidade do líquido se torna menor que a de uma esfera, essa esfera afunda, pois a força de empuxo é menor que o peso da esfera; caso contrário, ela flutua. A temperatura é indicada pela posição das esferas, como mostra a Figura 6, dada em graus Celsius na ordem de grandeza 1.

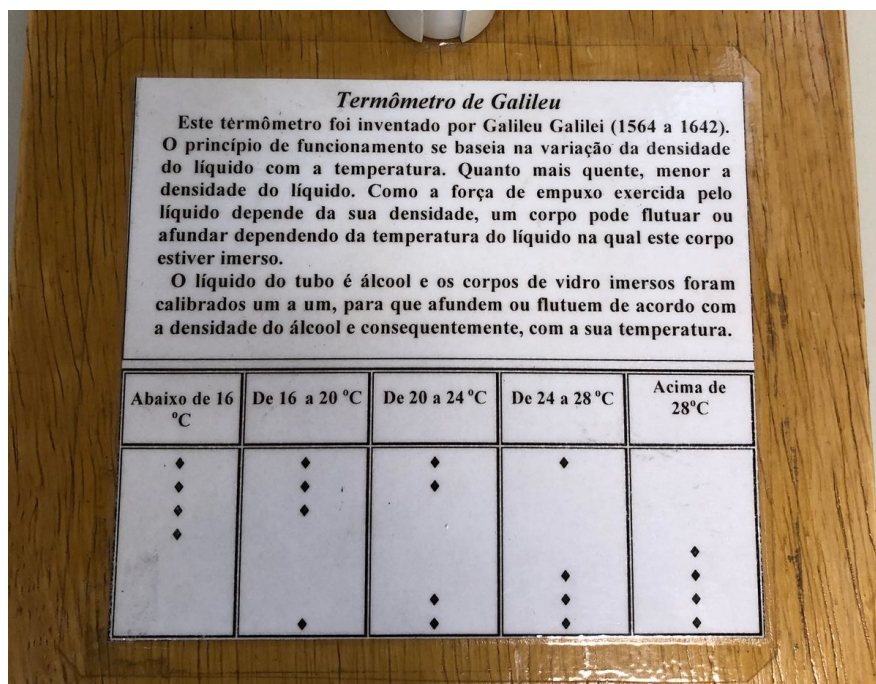


Figura 6: Legenda do termômetro de Galileu.

Fonte: Autores.

O termômetro de Galileu mostrou-se visualmente intuitivo e capaz de fornecer temperaturas absolutas por ser calibrado. Como desvantagens, o instrumento tem resposta lenta a mudanças bruscas de temperatura e faixa de medição limitada.

### 3. Higrômetro (psicrômetro);

Sabe-se que o higrômetro mede a umidade relativa do ar, que é a razão entre a quantidade de vapor de água no ar e a quantidade máxima que o ar pode conter a uma determinada temperatura. Tendo isso em mente, quando a atmosfera estiver seca, é esperado que a diferença de temperatura entre os dois bulbos seja maior, já que maior diferença de temperatura entre bulbo seco e bulbo úmido implica uma menor umidade relativa. Isso ocorre porque, no ar seco, a temperatura do bulbo úmido diminui mais rapidamente devido à maior taxa de evaporação.

Basicamente, o higrômetro funciona pois o fato de a água evaporar, faz com que o bulbo úmido resfrie. A relação entre evaporação e resfriamento é explicada pelo fato de a evaporação ser um processo em que um líquido se transforma em vapor, e para isso, as moléculas do líquido precisam absorver energia do ambiente. Essa energia é retirada do ambiente sob a forma de calor, o que causa a queda de temperatura.

A ordem de grandeza medida pelo higrômetro, que é a variação de temperatura em graus Celsius, foi de ordem 1. Assim, o higrômetro mostrou-se uma ferramenta útil para medição de umidade, e seu uso é ideal em ambientes onde a precisão manual é viável. No entanto, sua dependência de operação humana para a leitura da tabela, e o fato de seus resultados não serem imediatos para variações súbitas na umidade do ar, fazem com que seja um instrumento não ideal para aplicações mais rigorosas.

### 4. Anel de Gravesande;

Na primeira etapa, com a esfera à temperatura ambiente, foi possível inseri-la pelo anel sem dificuldades, demonstrando que o diâmetro do anel era largo o suficiente para permitir a passagem da esfera metálica.

Após o aquecimento, observou-se que a esfera não conseguia mais passar pelo anel. Isso pode ser observado na Figura 7. A esfera parecia ligeiramente maior, o que impossibilitou a travessia pelo anel. Esse resultado evidencia a expansão do volume da esfera metálica ao ser aquecida, resultado da dilatação térmica do material.



Figura 7: Esfera aquecida

Fonte: Autores

Quando a esfera foi resfriada em temperatura ambiente, sua dimensão retornou ao estado inicial e ela pôde passar novamente pelo anel, confirmando que a dilatação térmica era reversível dentro desse intervalo de temperaturas. A dilatação térmica no experimento, pode ser da ordem de  $10^{-3}$ , ou seja, poucos milímetros.

Assim, o anel de Gravesande mostrou-se eficaz para demonstrar princípios básicos da dilatação térmica. No entanto, sua natureza é qualitativa e seu funcionamento imediato depende de materiais com alto coeficiente de dilatação térmica.

##### 5. Par bimetálico;

Após aquecermos o metal circular com uma chama, foi observado que o ponteiro subia até seu nível máximo. O ponteiro sobe pois o metal circular se dilata quando aumentada sua temperatura; assim, o ponteiro subir é evidência direta que o metal se dilatou e fez a “alavanca” ser puxada; como é ilustrado na Figura 8.

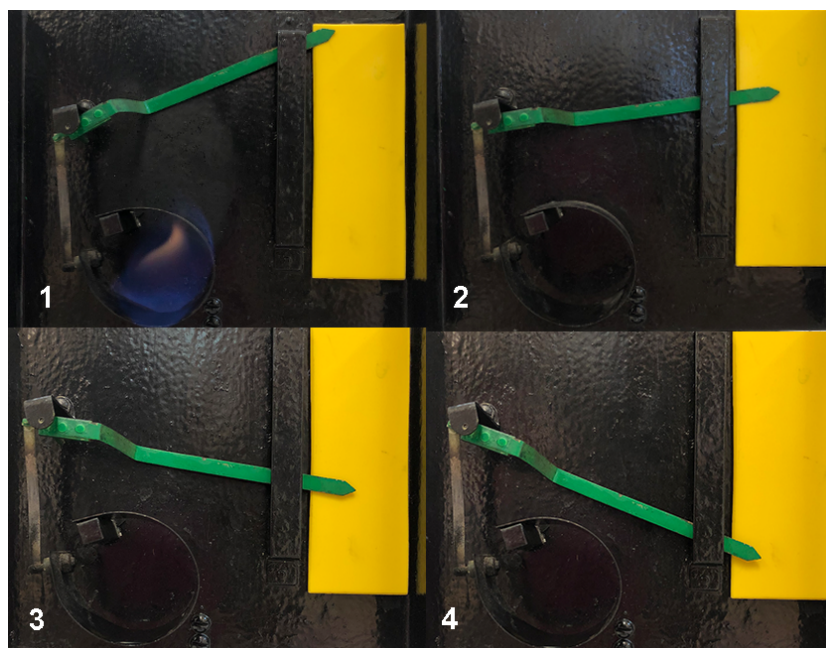


Figura 8: Sucessão de frames que ilustram a dilatação e contração do metal, por efeitos térmicos.

Fonte: Autores.

Quando o fogo é retirado, após decorrer um intervalo curto de aproximadamente 3 minutos, o ponteiro volta a descer para sua posição original. Isso evidencia que a dilatação sofrida pelo metal não é permanente, pois após a fonte de calor ser retirada o metal tende a retornar à temperatura ambiente, segundo o princípio de equilíbrio térmico. Pode-se constatar que o metal de fato voltou a sua temperatura inicial e retornou às suas dimensões iniciais, quando o ponteiro desce.

A ordem de grandeza medida corresponde à dilatação do metal circular, que foi da ordem de 10 milímetros; porém essa pequena variação implicou uma mudança considerável na posição do ponteiro, por volta de 5 centímetros. Com isso em mente, o par bimetálico mostrou-se eficiente para constatar a dilatação térmica de metais. No entanto, como o aparelho não possui uma interface que registre sua temperatura e/ou a mudança de dimensões de modo quantitativo, sua precisão é limitada, tornando-o inadequado para obtenção de medidas.

## 5 CONCLUSÃO

O termoscópio de Galileu evidenciou a relação entre temperatura e pressão em gases, demonstrando como o aumento da temperatura leva à expansão do ar e consequente deslocamento de líquidos em sistemas fechados, com base na lei dos gases ideais, sendo um experimento unicamente qualitativo para conferir mudanças de temperatura. Já seu sucessor, o termômetro de Galileu permitiu observar a variação da densidade de um fluido com a temperatura, fundamentada

no Princípio de Arquimedes, permitindo a aferição quantitativa da temperatura por meio do comportamento de flutuação de corpos calibrados.

O higrômetro evidenciou como o fenômeno da evaporação e seus princípios são usados na determinação quantitativa da umidade relativa do ar, por meio da diferença entre temperaturas medidas por bulbos seco e úmido, sendo um bom instrumento para fazer medições mais casuais no dia a dia. Já no experimento com o anel de Gravesande, a dilatação volumétrica de sólidos foi demonstrada qualitativamente de forma clara: o aquecimento da esfera metálica impediu sua passagem pelo anel, evidenciando o aumento de volume com o calor. Após o resfriamento, a esfera voltou a passar, reforçando a reversibilidade do fenômeno dentro do intervalo térmico considerado. Mostrando-se, assim, uma ótima ferramenta educativa.

Por fim, o par bimetálico mostrou como a dilatação de metais pode ser usada para montar sistemas que respondem de forma distinta ao calor – como levantar uma alavanca – resultando em deformações mecânicas úteis em dispositivos de controle térmico, como termostatos e disjuntores.

Em conjunto, os experimentos realizados proporcionaram uma compreensão integrada dos fenômenos associados à dilatação térmica e aos efeitos da temperatura sobre os materiais e sistemas físicos, consolidando os tópicos teóricos percorridos pela disciplina de maneira prática; visual e palpável.

## **6 REFERÊNCIAS**

NUSSENZVEIG, Moysés. Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2012.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física 2: termodinâmica e ondas. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

BRAGA, Newton C. Coeficientes de dilatação volumétrica ( $\beta$ ) de alguns líquidos a 18°C. Almanaque Tecnológico, [S. l.], [20--]. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/422-coeficientes-de-dilatacao-volumetrica-b-de-alguns-liquidos-18-graus>. Acesso em: 30 maio 2025.