



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ**  
**FACULDADE DE FÍSICA**

**SALOMÃO MARTINS DA SILVA**

**DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO CALOR ESPECÍFICO DO**  
**FERRO, ALUMÍNIO E COBRE**

Marabá-Pará  
2016

SALOMÃO MARTINS DA SILVA

**DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO CALOR ESPECÍFICO DO  
FERRO, ALUMÍNIO E COBRE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Física da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - Campus Universitário de Marabá, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de graduado em Física, sob a orientação do Prof. M.Sc. Jorge Everaldo de Oliveira

Marabá-Pará  
2016

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA**

---

Silva, Salomão Martins da

Determinação experimental do calor específico do ferro, alumínio e cobre / Salomão Martins da Silva; orientador, Jorge Everaldo de Oliveira. — 2016.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Ciências Exatas, Faculdade de Física, Curso de Licenciatura Plena em Física, Marabá, 2016.

1. Termodinâmica. 2. Calorimetria. 3. Ferro. 4. Alumínio. 5. Cobre. I. Oliveira, Jorge Everaldo de, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 536.7

---

SALOMÃO MARTINS DA SILVA

**DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO CALOR ESPECÍFICO DO  
FERRO, ALUMÍNIO E COBRE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Física da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - Campus Universitário de Marabá, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de graduado em Física.

Defesa em 28/04/2016

Conceito da Defesa: \_\_\_\_\_

Banca Examinadora

---

Prof. M.Sc. Jorge Everaldo de Oliveira (Orientador)

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Fernanda Carla Lima Ferreira

---

Prof. Fábio Barros de Sousa

Marabá-Pará  
2016

Dedico este trabalho a minha esposa Aliny Santos e aos meus filhos Jéssyca e Felipe, sem os quais não teria forças para concluí-lo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, pela perseverança que me deste e por colocar pessoas maravilhosas no meu caminho para contribuir nesta jornada;

Ao professor MSc. Jorge Everaldo que me orientou pacientemente com competência e seriedade;

À minha esposa e filhos que me entenderam por todas as vezes que me fiz ausente;

Aos meus colegas de classe por todo o incentivo, força, amizade e respeito no decorrer do curso. Em especial aos amigos Jorge e Aldene, pelo companheirismo e contribuição em todas as horas.

A todos meu sincero obrigado.

Nunca pense galgar os cumes, sem sangrar  
pelos caminhos... Cada coroa de louros, oculta  
outra de espinhos.

(Roque Schneider)

## RESUMO

Os entendimentos dos conceitos relativos ao calor foram se desenvolvendo lentamente ao longo da história, mas a partir do século XVIII, vários cientistas deram contribuições importantes, entre eles destacam-se as contribuições de Joseph Black, pioneiro em fazer medições precisas de quantidades de calor e criador do conceito de calor específico. Outro cientista que deu grandes contribuições a termodinâmica foi James Joule que estabeleceu a relação entre energia mecânica e calor. É importante destacar ainda as contribuições de Sadi Carnot por formalizar no livro Reflexões sobre a potência motriz do fogo e os conceitos que relacionam calor e trabalho. Nesse sentido, pode se dizer que o desenvolvimento da termodinâmica ao longo da história está atrelado as estas inúmeras descobertas. Este trabalho buscar fazer uma reflexão dessas contribuições.

Palavras chaves: Calorímetro, calor específico, termodinâmica.



## ABSTRACT

The understanding of heat related concepts have been developed slowly throughout history, but from the eighteenth century, several scientists have made important contributions, among them stand out the contributions of Joseph Black, a pioneer in making precise measurements of amounts of heat and creator of the concept of specific heat. Another scientist who made great contributions to thermodynamics was James Joule who established the relationship between mechanical energy and heat. It is important to highlight the contributions of Sadi Carnot to formalize the book Reflections on the motive power of fire and concepts relating heat and work. In this sense, it can be said that the development of thermodynamics throughout history is linked to these numerous discoveries. This work seek to reflect these contributions.

Key words: Calorimeter, specific heat, thermodynamics.

## Sumário

CAPÍTULO 1.....	11
INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVO DO TRABALHO.....	11
CAPÍTULO 2.....	12
RESUMO HISTÓRICO DA CRIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA TERMODINÂMICA.....	12
2.1 PRIMÓRDIOS DA TERMODINÂMICA. ....	12
2.2 DESENVOLVIMENTO E CRIAÇÃO DA CALORIMETRIA .....	13
2.3 TEORIA DO CALÓRICO .....	14
2.4 MAQUINA TÉRMICA DE SAVERY.....	14
2.5 MAQUINA TÉRMICA DE NEWCOMEN.....	15
2.6 APERFEIÇOAMENTO DA MÁQUINA DE THOMAS NEWCOMAN POR JAMES WATT.....	17
2.7 JOULE E O CÁLCULO DO EQUIVALENTE MECÂNICO.....	19
2.8 SADI CARNOT E O ENTENDIMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS.....	21
2.9 LEI ZERO DA TERMODINÂMICA .....	23
2.10 1º LEI DA TERMODINÂMICA.....	23
2.11 2º LEI DA TERMODINÂMICA .....	24
2.12 3º LEI DA TERMODINÂMICA POSTULADO DE NERNST.....	24
CAPÍTULO 3.....	25
MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1 CAPACIDADE TÉRMICA E CALOR ESPECÍFICO. ....	25
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO CALOR ESPECÍFICO. ....	25
3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL. ....	26

CAPÍTULO 4.....	27
RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	27
4.1 CÁLCULO DO CALOR ESPECÍFICO DO ALUMÍNIO.....	27
4.2 CÁLCULO DO CALOR ESPECÍFICO DO COBRE.....	27
4.3 CÁLCULO DO CALOR ESPECÍFICO DO FERRO. ....	28
CAPÍTULO 5.....	30
CONCLUSÃO .....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	31

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

O homem faz medidas de calor há muito tempo, sendo este um dos fenômenos mais comuns da natureza, no século XVIII o calor estava entre uma das áreas mais estudadas e a calorimetria representou um importante papel no desenvolvimento da Física, contudo isso a explicação desse fenômeno só foi completamente dada no final do XVIII com a criação do calorímetro, equipamento que podia fazer a medida exata de quanto calor é transferido de um corpo para outro. As primeiras medidas da capacidade calórica foram medições dos calores específicos, realizadas através do método de mistura, no qual uma determinada quantidade de uma substância aquecida e de uma substância fria (que era geralmente água) era misturada, onde as temperaturas iniciais das substâncias separadas e a temperatura final da mistura eram observadas. Joseph Black foi quem realizou os primeiros estudos quantitativos nos quais ele mediu a capacidade de calor da matéria, entre essas medidas, Black foi capaz de medir o calor de fusão do gelo e o calor de vaporização da água, foi ele também quem introduziu os conceitos de calor latente e calor específico. Paralelamente a estes estudos que pretendiam explicar a natureza do calor havia outro grupo de cientistas interessados em usar o calor para realizar algum tipo de trabalho. Entre esses cientistas estava Thomas Savery (1650-1715) responsável por criar umas das primeiras máquinas que utilizava o vapor para bombear água de minas de mineração. Logo após a invenção de Savery as máquinas térmicas foram rapidamente aprimoradas. Mais depois do conhecimento do trabalho de Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832) um engenheiro francês que expôs em seu livro reflexões sobre Potência Motriz do Fogo, os fundamentos físicos do funcionamento das máquinas térmicas que foi estabelecido formalmente à ciência termodinâmica.

O presente trabalho objetiva realizar uma avaliação histórica dos acontecimentos que culminaram na criação da ciência termodinâmica, destacando a importância do calorímetro no entendimento dos conceitos relativos ao calor, bem como realizar a medição dos calores específicos dos metais: Ferro, alumínio e cobre usando o método de misturas.

#### **1.1 OBJETIVO DO TRABALHO**

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo sobre a importância da termodinâmica e sua contribuição para a atualidade.

## CAPÍTULO 2

### RESUMO HISTÓRICO DA CRIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA TERMODINÂMICA.

#### 2.1 PRIMÓRDIOS DA TERMODINÂMICA.

Ao refletirmos sobre o nascimento e desenvolvimento da termodinâmica somos forçados a voltarmos ao século I a.C. na cidade de Alexandria onde viveu Heron, que sem nenhuma pretensão científica construiu o que ficou conhecido como o protótipo de uma máquina térmica, que foi chamada de Eolípila.[1]

Esta primeira máquina térmica era formada por uma esfera de cobre oca e dois canos em forma de L que encaixados na esfera que continha água no seu interior, este conjunto era então colocado sobre o fogo, a água fervia e o vapor que saía pelos canos fazia com que a esfera girasse. Este aparelho criado por Heron não realizava nenhum trabalho útil. O esquema da máquina de Heron pode ser visto na figura abaixo.

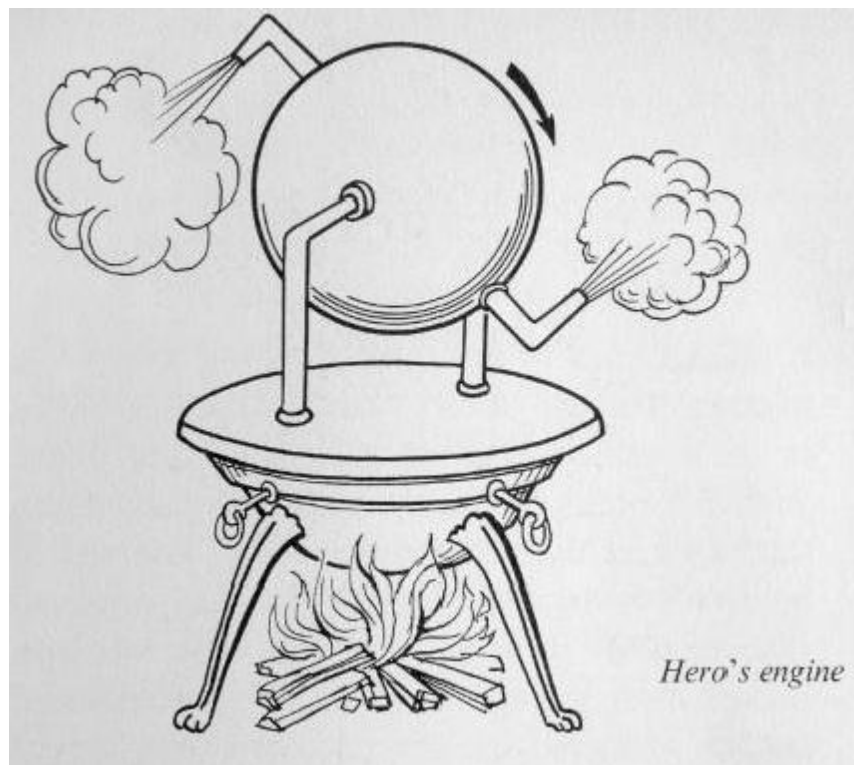


Figura 2.1: Desenho do motor criado por Heron no século I.a.C.

## 2.2 DESENVOLVIMENTO E CRIAÇÃO DA CALORIMETRIA

Joseph Black foi um físico e químico escocês (1728-1799) criador da ciência Termometria, também foi o responsável pela diferenciação entre calor e temperatura e introdução dos conceitos de calor sensível e o calor latente no mundo da física. A sua observação que corpos de massa iguais, mas de substâncias diferentes, necessitavam de quantidades de calor diferentes para alcançarem a mesma temperatura deu origem a teoria do calor específico.

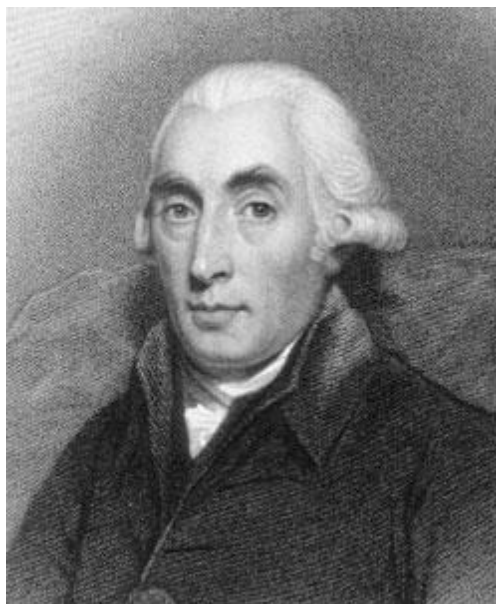


Figura 2.2: Joseph Black criador da Calorimetria.

Black em 1760 observou que a mesma temperatura, um bloco de ferro parece mais quente que um bloco de madeira de igual volume, concluindo então que o ferro tinha mais capacidade de armazenar calor do que a madeira. Essas experiências levaram Black a escrever que diferentes corpos embora de mesmo tamanho podem conter diferentes quantidades de calor. O conceito de capacidade de calor recebido por um corpo e a conseqüente elevação de temperatura são influenciadas por suas propriedades específicas, que mais tarde retomado pelo físico Sueco Johan Carl Wilcke (1732-1796) ao demonstrar que quantidades iguais de substâncias distintas necessitam de diferentes quantidades de calor para a mesma elevação de temperatura formulando a famosa Equação de Black-Wilcke  $Q = mc\Delta T$ , onde  $c$  é o calor específico.[2]

## 2.3 TEORIA DO CALÓRICO

Apesar dos grandes avanços na criação dos conceitos de calor específico, calor sensível e calor latente estes ainda eram apoiadas na teoria do calórico, que considerava o calor como uma substância fluida, que permeava os corpos e que era indestrutível e que não podia ser criado, o trânsito do calor entre dois corpos era explicado em termos do fluxo desta substância entre eles.

Em 1798, o Conde Rumford (1753-1814), nascido nos Estados Unidos, cujo nome era Benjamin Thompson, contestou a ideia do calórico. Quando estava trabalhando na Alemanha, na perfuração de canhões, ele observou que quando a broca estava gasta, produzia mais calor do que quando estava afiada, o que desafiava o princípio lógico da teoria do calórico. Na verdade, quando parte da massa de um corpo era arrancada, este aquecia pela liberação do calórico ali contido. Contudo, ele observou que quando a broca estava 'cega', era neste momento que o metal aquecia mais, ou seja, liberava mais calor e não quando a broca estava afiada, como era previsto pela teoria do calórico. Ele chegou a conclusão que o calor só podia ser uma forma de movimento mecânico. O químico inglês Humphry Davy (1778-1829) foi uma das pessoas que apoiou Rumford. Davy realizou um interessante experimento no qual mostrou a produção do calor através do movimento, no ano de 1799. De posse de dois pedaços de gelos, começou a esfregá-los até eles derreterem esse foi o fim da teoria do calórico [3].

## 2.4 MAQUINA TÉRMICA DE SAVERY.

Embora a criação da Eolípila tenha ocorrido no século I A.C a primeira máquina térmica capaz de realizar trabalho só foi criada em 1698 por Thomas Savery (1650-1715), um engenheiro militar e mecânico inglês.



Figura 2.3: Thomas Savery, criador da primeira máquina térmica.

Essa máquina era uma bomba que tinha por objetivo retirar água dos poços de minas de carvão, porém poderia explodir devido à utilização de vapor a alta pressão. A bomba de Savery possuía válvulas operadas manualmente, abertas para permitir a entrada de vapor num recipiente fechado. Despejava-se água fria no recipiente para resfriá-lo e condensar o vapor. Uma vez condensado o vapor, abria-se uma válvula de modo que vácuo no recipiente aspirasse a água através de um cano [4]. O esquema mostrando o funcionamento da máquina de Savery é mostrado na figura abaixo.

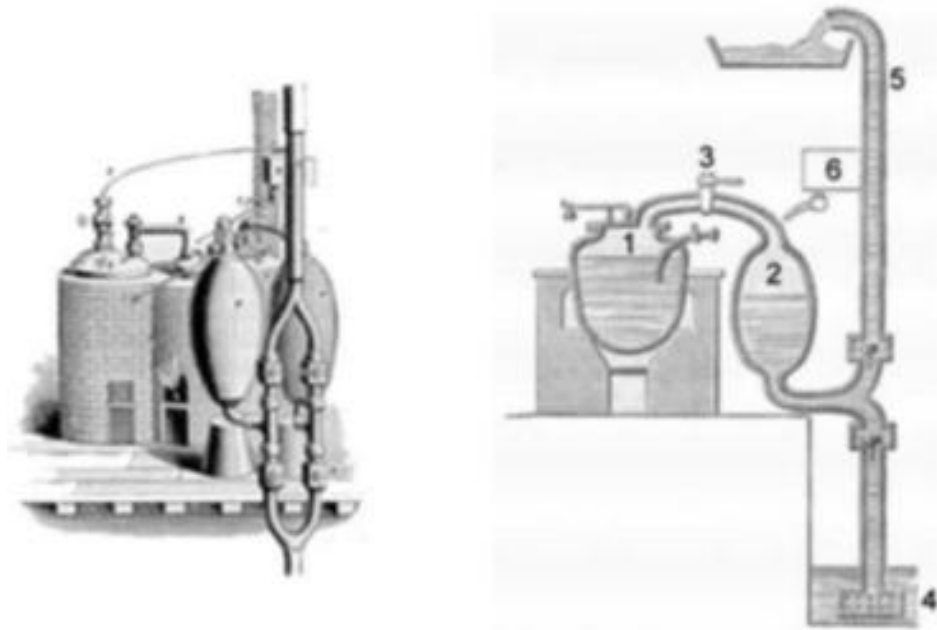


Figura 2.4: Máquina feita por Sarvery em 1698.

## 2.5 MAQUINA TÉRMICA DE NEWCOMEN.

Em 1712, o inglês Thomas Newcomen (1664-1729), um ferreiro inglês filho de comerciantes, aperfeiçoou a máquina térmica de Savery, idealizando uma nova máquina térmica que foi largamente utilizada para retirar água de minas profundas.



Figura 2.5: Tomas Newcomen cientista que aperfeiçoou a maquina de Savery.



A máquina de Newcomen foi projetada para remover da água de infiltração das minas, porém esta poderia ser utilizada em minas mais profundas com menor risco de explosões e que, além de elevar a água, poderia elevar cargas. Era uma máquina a vapor com êmbolo e logo se tornou um sucesso na Europa durante o século XVIII. Este motor usava, pela primeira vez, um conjunto cilindro-pistão e era uma máquina perfeita para o bombeamento de água. Possuía funcionamento cíclico. O Vapor era produzido no aquecedor (a) e conduzido através da válvula manual (b) até o cilindro (c). O vapor iria empurrar o pistão até a posição mostrada, permitindo a haste (d) descer para dentro do reservatório de água (ou mina). A válvula (e) era então aberta para permitir um jato de água sobre o cilindro, capaz de condensar o vapor ali dentro, provocando o vácuo necessário. O pistão era então empurrado para baixo pela pressão atmosférica, levantando a haste e bombeando água para fora através da linha (f). A válvula (e) era fechada, a válvula (b) era aberta e o procedimento era repetido. A linha (g) era aberta intermitentemente para permitir que o vapor condensado pudesse ser retirado do cilindro [5]. Observe a figura a seguir.

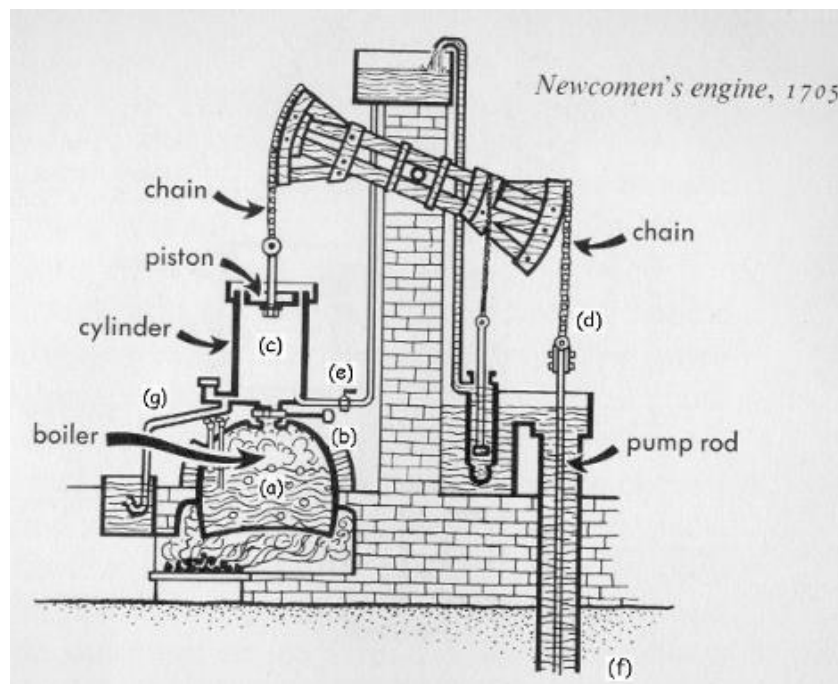


Figura 2.6: Máquina térmica de Newcoman 1712.

## 2.6 APERFEIÇOAMENTO DA MÁQUINA DE THOMAS NEWCOMAN POR JAMES WATT.

O escocês James Watt (1736-1819) era matemático, engenheiro e construtor, aperfeiçoou vários instrumentos científicos, destacando-se pelos melhoramentos que introduziu no motor a vapor, que tiveram contribuição fundamental na Revolução Industrial.

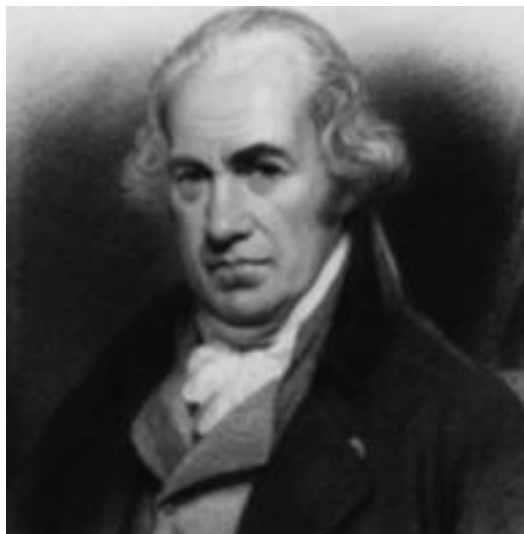


Figura 2.7: James Watt matemático e engenheiro Escocês.

Em 1763, James Watt, o brilhante engenheiro escocês, recebeu um modelo da máquina de Newcomen para reparar e ao término do conserto, ele notou a baixíssima eficiência da máquina de Newcomen e suspeitou que grande parte do vapor quente, resfriado e condensado, tinha seu volume bastante reduzido ao entrar no cilindro resfriado, ele introduziu diversas inovações, entre elas o uso de um condensador externo (a). Na máquina de Watt, o vapor era conduzido pela tubulação (b). A válvula (c), controlada a partir da haste (d), permitia o vapor entrar na parte superior do pistão (e). Isto empurrava o pistão para baixo e, através da barra (f), levantava as hastes (g) e (h) da bomba. Tal movimento retirava água do reservatório (i) através da tubulação (j) e também do reservatório (k) para o reservatório (i). A válvula (l) era então movida para permitir vapor entrar na base do pistão; assim equilibrado, o pistão movia-se para o topo, possibilitando um novo ciclo [6].

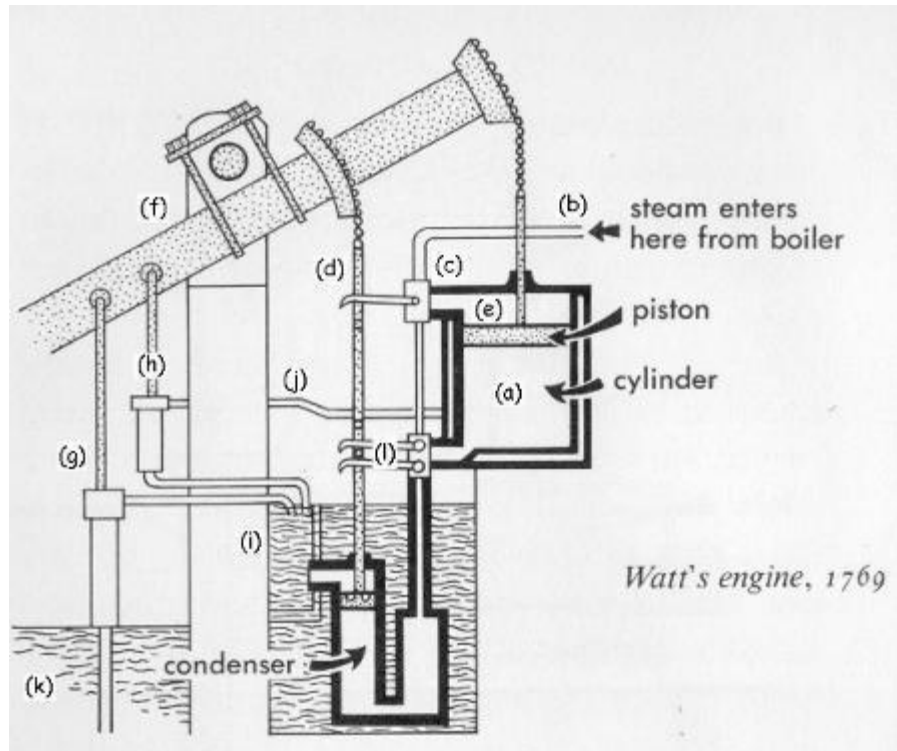


Figura 2.8: Esquema da nova máquina aperfeiçoada por James Watt.

Em 1768 James Watt patenteou sua própria máquina a vapor, essa nova máquina também podia produzir um movimento rotativo, movimento esse que permitiu que fosse usada nos mais diversos setores da indústria. Nessa nova máquina o movimento é produzido quando a válvula A está aberta e a válvula B está fechada, o vapor entra sob pressão no cilindro e empurra o êmbolo para cima, deslocando a e roda R e a biela B. Quando o êmbolo atinge o topo do cilindro, válvula A fecha-se para cortar o fornecimento de vapor e a válvula B abre-se, permitindo que o vapor saia do cilindro e entre no condensador. O condensador é mantido arrefecido por meio de água corrente. Quando o vapor deixa o cilindro, a pressão diminui no seu interior e a pressão atmosférica (com a ajuda da inércia do volante) empurra o êmbolo para baixo. Quando o êmbolo atinge o fundo do cilindro, a válvula B fecha-se e a válvula A abre-se, admitindo vapor no cilindro, recomeçando o ciclo de operações. Na figura abaixo é mostrada a máquina de James Watt.

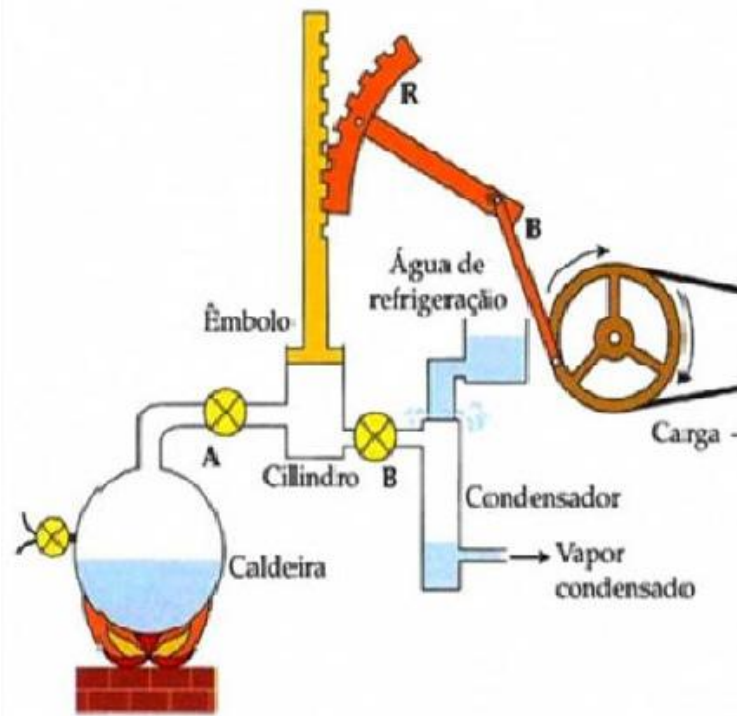


Figura 2.9: Máquina patenteada por James Watt.

## 2.7 JOULE E O CÁLCULO DO EQUIVALENTE MECÂNICO.

James Prescott Joule (1818-1889) foi um físico britânico que estudou a natureza do calor, e descobriu sua relação com o trabalho mecânico, estudo este que direcionou a criação da teoria da conservação da energia que mais tarde foi chamada de 1º lei da termodinâmica.



Figura 2.10: James Prescott Joule físico Inglês.

Joule realizou trabalhos importantes na física entre eles a determinação da relação entre calor e trabalho em seu experimento utilizou um recipiente cheio de água, um termômetro, dois corpos pesados e uma haste metálica dotada de algumas pás. Numa das extremidades da haste, havia uma carretilha. A haste era imersa na água, de modo que as pás pudessem girar livremente no interior do líquido. Da carretilha, que permanecia fora do recipiente, saíam dois fios em direções opostas, cada um dos quais passando por roldanas com eixos dispostos horizontalmente. Na ponta dos fios, amarravam-se os corpos pesados. O bulbo do termômetro, imerso na água, permitia medir a temperatura.

A experiência consistia tão somente em suspender os dois corpos pesados, por meio da carretilha e, depois liberá-la. Os corpos, atraídos pela Terra, caíam, fazendo a carretilha girar; esse movimento se transmitia à haste metálica, e dessa maneira as pás giravam rapidamente no interior da água. Como consequência, a temperatura da água se elevava. Este aumento da temperatura era registrado pelo termômetro. Conhecendo-se a massa e altura de queda dos corpos, Joule pôde calcular a energia fornecida ao sistema (água) na forma de energia mecânica ( $U = W = mgh$ ) e, pela medida da variação de temperatura e pelos dados da água ( $n, c_{\text{água}}$ ) ele calculou a quantidade líquida de calor que lhe era fornecida ( $Q = c_{\text{água}}\Delta T$ ). Com estes dois dados, ele determinou o equivalente mecânico do calor ( $J = W = Q$ ). A figura abaixo mostra uma representação do equipamento utilizado por Joule em 1868[7].

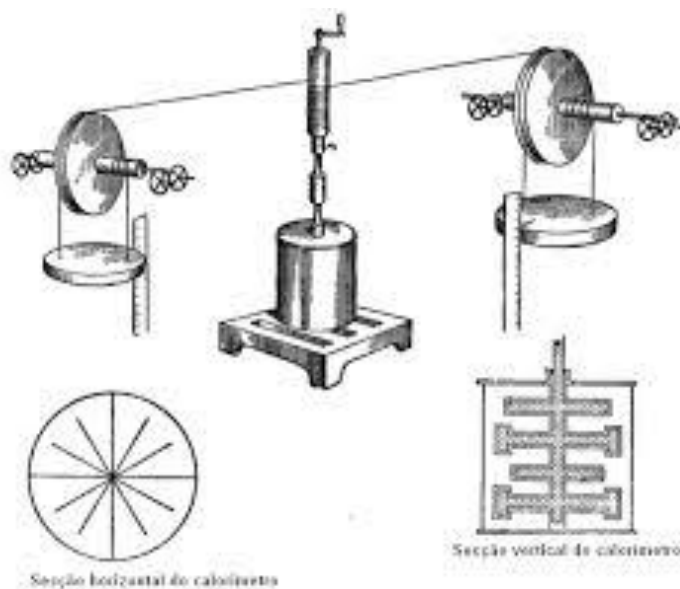


Figura 2.11: Aparelhagem montada por Joule para determinar a relação entre calor e trabalho.

## 2.8 SADI CARNOT E O ENTENDIMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS.

Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832) foi um físico, matemático e engenheiro francês que deu o primeiro modelo teórico de sucesso sobre as máquinas térmicas, o Ciclo de Carnot, e apresentou os fundamentos da Segunda Lei da Termodinâmica.



Figura 2.12: Sadi Carnot Físico e Engenheiro francês.

No período em que viveu Carnot as máquinas térmicas eram usadas em larga escala para as mais diversas atividades mais apesar disso não existia uma teoria consistente que as definissem e explicassem naquela época ainda se acreditava que era possível extrair delas um rendimento de 100%, ou algo próximo a esse valor. Em outras palavras, os cientistas da época acreditavam que podiam fazer uso de toda energia térmica fornecida a essas máquinas. Carnot foi o responsável, por fazer demonstrações nas quais era impossível obter 100% de rendimento ele propôs que uma máquina térmica teórica, ideal, funcionaria percorrendo um ciclo particular, hoje designado Ciclo de Carnot. Em sua demonstração, Carnot conceituou dois postulados, que foram propostos antes mesmo de enunciada a primeira lei da termodinâmica.

O primeiro postulado diz: Nenhuma máquina operando entre duas temperaturas fixadas pode ter rendimento maior que a máquina ideal de Carnot, operando entre essas mesmas temperaturas.

O Segundo postulado diz: Ao operar entre duas temperaturas, a máquina ideal de Carnot tem o mesmo rendimento, qualquer que seja o fluido operante, e é completamente reversível, sem adição de energia.

Observando os postulados enunciados por Carnot, podemos ver a garantia de que o rendimento de uma máquina térmica é função das temperaturas das fontes quente e fria. Entretanto, fixando-se as temperaturas dessas fontes, a máquina teórica de Carnot é aquela que consegue ter o maior rendimento [8].

O ciclo de Carnot é um ciclo idealizado, reversível, no qual o fluido operante é um gás perfeito, que corresponde a duas transformações isotérmicas e duas adiabáticas, intercaladas. Os processos descritos pelo gás nesse ciclo são:

1.º) expansão isotérmica DA, durante a qual o gás está em contato com o sistema de temperatura constante  $T_A$  (fonte quente), recebendo dele uma quantidade de calor  $Q_A$ .

2.º) expansão adiabática AB, durante a qual não ocorrem trocas de calor com o ambiente. O sistema realiza trabalho com diminuição de energia interna e, portanto, de temperatura.

3.º) contração isotérmica BC, durante a qual o gás está em contato com o sistema de temperatura constante  $T_B$  (fonte fria), cedendo a ele uma quantidade de calor  $Q_B$ .

4.º) contração adiabática CD, durante a qual o gás não troca calor com o ambiente.

O sistema recebe trabalho, que serve para aumentar sua energia interna e, portanto, sua temperatura.

Observe a figura abaixo mostrando o ciclo de Carnot.

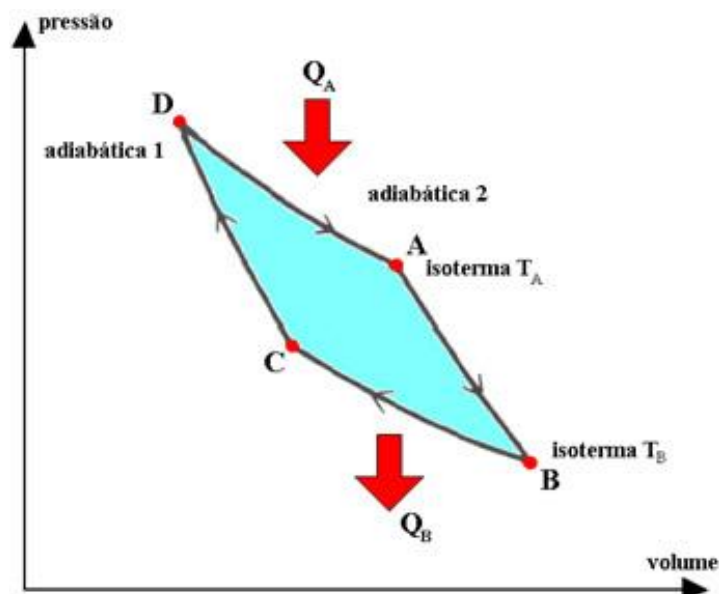


Figura 2.13: Representação gráfica do ciclo de Carnot.

No ciclo de Carnot, os calores trocados ( $Q_A$  e  $Q_B$ ) e as temperaturas termodinâmicas ( $T_A$  e  $T_B$ ) das fontes quente e fria são proporcionais, valendo a relação:

$$\frac{|Q_A|}{|Q_B|} = \frac{T_A}{T_B}$$

Substituindo na equação do rendimento de uma máquina térmica, obtemos, para a máquina de Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{T_A}{T_B}$$

Considerando a temperatura da fonte fria  $T_B$  igual a zero kelvin (zero absoluto), temos  $\eta = 1$  ou  $\eta = 100\%$ . Entretanto, esse fato contraria a segunda lei da termodinâmica, que garante ser impossível um rendimento de 100%, o que nos leva a concluir que nenhum sistema físico pode se apresentar com temperatura igual a zero absoluto.

## 2.9 LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

O equilíbrio térmico entre corpos materiais só é atingido quando os mesmos se encontram na mesma temperatura. Dessa definição pode ser concluída a Lei Zero da Termodinâmica, ou seja, se três sistemas apresentam-se isolados de qualquer outro universo externo, e, dois sistemas consecutivos estiverem em equilíbrio térmico com o terceiro, então os dois sistemas consecutivos estarão em equilíbrio térmico entre si [9].

## 2.10 1º LEI DA TERMODINÂMICA

A primeira lei da termodinâmica nada mais é que o princípio da conservação de energia e, apesar de ser estudado para os gases, pode ser aplicado em quaisquer processos em que a energia de um sistema é trocado com o meio externo na forma de calor e trabalho. Quando fornecemos a um sistema certa quantidade de energia  $Q$ , esta energia pode ser usada de duas maneiras:

1. Uma parte da energia pode ser usada para o sistema realizar um trabalho, expandindo-se ou contraindo-se, ou também pode acontecer de o sistema não alterar seu volume;
2. A outra parte pode ser absorvida pelo sistema, virando energia interna, ou seja, essa outra parte de energia é igual à variação de energia ( $\Delta U$ ) do sistema. Se a variação de energia for zero ( $\Delta U = 0$ ) o sistema utilizou toda a energia em forma de trabalho.



$$\Delta U = Q - t$$

Assim temos enunciada a primeira lei da termodinâmica: a variação de energia interna  $\Delta U$  de um sistema é igual a diferença entre o calor  $Q$  trocado com o meio externo e o trabalho por ele realizado durante uma transformação.

Aplicando a lei de conservação da energia, temos:

$$\Delta U = Q - T \text{ ou } Q = \Delta U + T \quad [10]$$

## 2.11 2° LEI DA TERMODINÂMICA

Espontaneamente, o calor só pode passar de um corpo de temperatura mais alta para outro de temperatura mais baixa, ou seja, se os dois corpos (corpo quente  $T_A$ ) e (corpo frio  $T_B$ ) são colocados em contato entre si num sistema isolado como em *b* da figura, a experiência mostra que o calor passa do corpo quente para o corpo frio até que as temperaturas de ambos se estabilizem num valor de equilíbrio  $T_E$  [11]. Como em *c* da figura.

Resultando em  $T_A > T_E > T_B$  conforme a figura abaixo:

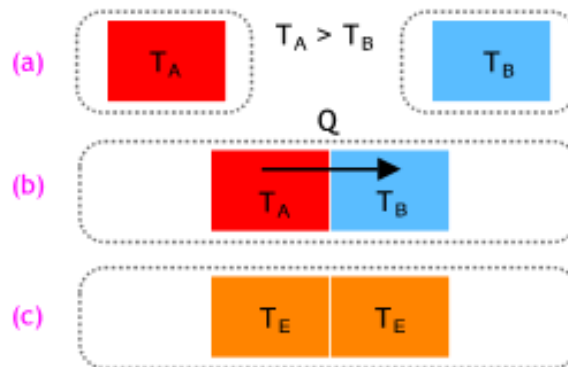


Figura 2.14: Esquema representativo da 2° lei.

## 2.12 3° LEI DA TERMODINÂMICA POSTULADO DE NERNST

O conceito de temperatura entra na termodinâmica como uma quantidade matemática precisa que relaciona calor e entropia. A interação entre essas três quantidades é descrita pela terceira lei da termodinâmica, segundo a qual é impossível reduzir qualquer sistema à temperatura do zero absoluto mediante um número finito de operações. De acordo com esse princípio, também conhecido como teorema de Nernst, a entropia de todos os corpos tende a zero quando a temperatura tende ao zero absoluto [12].

## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS.

Neste capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos do experimento, os materiais utilizados para medir o calor específico dos metais de prova, bem como a descrição do procedimento experimental.

#### 3.1 CAPACIDADE TÉRMICA E CALOR ESPECÍFICO.

A capacidade térmica  $C$  de um corpo indica a quantidade de calor que ele precisa receber ou ceder para que sua temperatura varie uma unidade, ela corresponde ao quociente entre calor e a variação de temperatura e sua unidade usual é  $cal/^{\circ}C$ . Na equação abaixo está a expressão matemática da Capacidade térmica.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

O calor específico ou a capacidade térmica por unidade de massa( $c$ ) indica a quantidade de calor que cada unidade de massa do corpo precisa receber ou ceder para que sua temperatura varie uma unidade sendo medido em  $(Cal/g^{\circ}C)$ . A equação abaixo mostra a definição matemática do calor específico.

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m\Delta T}$$

Vale lembrar que as equações que definem capacidade térmica e calor específico são relações diretas da equação:  $Q = mc\Delta T$

#### 3.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO CALOR ESPECÍFICO.

Para o procedimento experimental foram utilizados.

- 2 Termômetros
- 1 balança de precisão
- 3 amostras de metal sendo uma de ferro uma de alumínio e outra de cobre
- 1 calorímetro

- 1 copo graduado.



Figura 3.1: Materiais utilizados na experiência.

### 3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.

- 1- Separação e organização do material
- 2- Pesagem da quantidade de água em temperatura ambiente que será adicionadas ao calorímetro. (Temperatura inicial da água)
- 3- Pesagem dos metais de prova.
- 3- Adição dos metais de prova a uma quantidade de água fervida, obtendo o valor da temperatura em equilíbrio térmico (temperatura inicial do metal)
- 4- Adição do metal de prova dentro do calorímetro, obtendo assim a temperatura final em equilíbrio térmico da água e dos metais de prova.
- 5- O procedimento aqui descrito será feito separadamente para cada tipo de metal.
- 6- Com o uso da equação  $Q = mc\Delta T$  e os dados obtidos durante o experimento (massa, temperatura e o calor específico padrão da água), foi encontrado o calor específico de cada metal.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4.1 CÁLCULO DO CALOR ESPECÍFICO DO ALUMÍNIO.

O alumínio (símbolo Al) é um metal representativo de número atômico igual a 13 e massa atômica = 26,98  $g/mol$ . É muito leve, relativamente resistente e bom condutor de calor e eletricidade, muito utilizado na produção de eletroeletrônicos (computadores, aparelhos de áudio e vídeo), latas de bebidas (refrigerantes, cervejas), além de utensílios culinários (panelas, baldes de gelo e papel alumínio).

Na tabela abaixo é mostrado os dados experimentais para o cálculo do calor específico do Alumínio.

Substância	$m$ (g)	$T_i$ °C	$T_e$ °C	$\Delta T$ °C	$c$ (Cal/g°C)	$c$ medido (Cal/g°C)
Água	100	21	24	3	1	1
Alumínio	8,3	96	24	-72	?	0,22

Calculando:

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{alumínio}} = 0$$

$$m, c, \Delta T_{\text{água}} = -mc\Delta T_{\text{alumínio}}$$

$$100 \cdot 1 \cdot (24 - 21) = 8,3 \cdot c \cdot (24 - 96)$$

$$c = 300/1317,64$$

Portanto o calor específico ( $c$ ) do Alumínio é igual a 0,22 Cal/g°C

#### 4.2 CÁLCULO DO CALOR ESPECÍFICO DO COBRE.

O cobre (Símbolo Cu) é um elemento de transição de coloração vermelha discretamente amarelada, com um brilho levemente opaco de aspecto agradável, está localizado no grupo I -B da tabela periódica, possui número atômico 29, massa atômica 63,55  $g/mol$ , ponto de fusão de 1038°C, ponto de ebulição 2927°C, é um metal macio, maleável e dúctil em contato com ar atmosférico por tempo prolongado o cobre sofre oxidação formando em sua superfície uma película tóxica oriunda de uma mistura de óxidos, hidróxidos e

carbonatos, de cor verde comumente chamada de azinhavre. A utilização do cobre é bastante ampla, sendo difundida em vários segmentos industriais como por exemplos utensílios de tachos, panelas, bacias, talheres. Condutores elétricos cabos de alta e baixa tensão, conectores, contatos elétricos em geral, fabricação de motores e aquecedores solares, condutores de calor, tubulações de água entre outros usos.

A tabela abaixo contém os dados mostrando o cálculo do calor específico do cobre.

Substância	$m(g)$	$T_i\text{ }^\circ\text{C}$	$T_e\text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta T\text{ }^\circ\text{C}$	$c\text{ (Cal/g}^\circ\text{C)}$	$c\text{ medido(Cal/g}^\circ\text{C)}$
Água	100	20	22	2	1	1
Cobre	50	67	22	-45	?	0,088

Calculando:

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{cobre}} = 0$$

$$M.c.\Delta T_{\text{água}} = -mc\Delta T_{\text{cobre}}$$

$$100.1.(22-20) = 50.c.(22-67)$$

$$c = 200/2250$$

Portanto o calor específico(c) do Cobre é igual a 0,088 Cal/g°C.

### 4.3 CÁLCULO DO CALOR ESPECÍFICO DO FERRO.

Ferro (Símbolo *Fe*) é um elemento químico de número atômico igual a 26, massa molar de 55,84 g/mol, ponto de fusão de 1535 °C e ponto de ebulição de 2862 °C. Esse metal é de muita importância em nossa sociedade, pois existem os mais diversos objetos que contêm ferro em sua constituição. Ele pode estar na sua forma pura ou formando a liga metálica chamada de aço que é essencial para a construção civil e diversas aplicações industriais.

Observando a tabela abaixo é possível ver os dados para o cálculo do calor específico do Ferro.

Substância	$m(g)$	$T_i\text{ }^\circ\text{C}$	$T_e\text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta T\text{ }^\circ\text{C}$	$c\text{ (Cal/g}^\circ\text{C)}$	$c\text{ medido(Cal/g}^\circ\text{C)}$
Água	250	24,5	28,6	4,1	1	1
Ferro	122,5	100	28,6	-71,4	?	0,11

Calculando:

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{ferro}} = 0$$

$$m.c.\Delta T_{\text{água}} = -mc\Delta T_{\text{ferro}}$$

$$250.1.(28,6 - 24,5) = 122,5.c.(28,6 - 100)$$

$$c = 1025/8746,5$$

Portanto o calor específico(c) do Ferro é igual a 0,11Cal/g°C,

Comparando os resultados obtidos no experimento com a tabela abaixo, extraída do site: <http://senosecossenos.com.br/basico/fisica/06-mudancas-de-estado-fisico/>, podemos concluir como válidos e corretos os resultados obtidos.

Substâncias	Calor Específico [cal/g.°C]	Calor Latente de fusão [cal/ °C]	Calor Latente de vaporização [cal/ °C]
Água	1,000	80	540
Álcool	0,580	25	204
Cobre	0,094	49	1288
Ferro	0,115	64	1508
Alumínio	0,220	95	2569
Chumbo	0,031	6	209
Hidrogênio	3,400	14	108
Prata	0,056	21	559
Zinco	0,094	24	475
Ouro	0,031	15	376
Mercúrio	0,035	2,7	65

Obs.: os valores obtidos são experimentais, portanto dependem das condições (temperatura, pressão...) em que o ensaio é realizado.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSÃO**

No decorrer deste trabalho procurou-se fazer uma reflexão sobre o desenvolvimento da termodinâmica por meio da análise histórica, dos estudos e inventos de vários cientistas, dando destaque ao trabalho de Joseph Black responsável por estabelecer os princípios da calorimetria, sobretudo por elaborar uma distinção clara sobre os conceitos de calor e temperatura e também por criar o conceito de calor específico por meio de medidas precisas feitas observando trocas de calor em um calorímetro.

No final do trabalho foi realizada a medida dos calores específicos do ferro alumínio e cobre para a validação dos conceitos explorados ao longo do trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] SANTOS, Marcos Monteiro dos. A história da Termodinâmica e Suas Leis. 2012. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Física, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas Licenciatura em Física, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2012.

[2] BASSALO, José Maria Filardo. A Crônica do Calor: Calorimetria. Revista Brasileira de Ensino de Física, Belém, v. 1, n. 14, p.29-42, 13 nov. 1991.

[3] PÁDUA, Antonio Braz de et al. Termodinâmica clássica ou termodinâmica do equilíbrio: aspectos conceituais básicos. Semina: Ciências Exatas e da Terra, Londrina, v. 1, n. 29, p.57-84, 15 maio 2008.

[4] SANTOS, Zononi Tadeu Saraiva dos. Ensino de Entropia: Um enfoque histórico e epistemológico. 2009. 166 f. TCC (Graduação) - Curso de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

[5] SANTOS, Paulo do Nascimento. A história da Termodinâmica e Suas Leis. 2010. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Física, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Rondônia, 2010.

[6] ALBUQUERQUE, Kalina Lígia de Souza. Sistema especialista em termodinâmica. 2010. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2010.

[7] CARVALHO, Bianca Cintra de; GOMES, Luciano Carvalhais. Equivalente mecânico do calor: o que dizem os livros didáticos e o que afirma Joule em seus textos. IV SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, Ponta Grossa-PR.

[8] PASSOS, Júlio César. Em torno de Carnot e sobre a segunda lei da termodinâmica. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2., 2002, João Pessoa-PB. Artigo. João Pessoa, 2002. p. 5 - 17.

[9] WYLEN, Gordon J.van; SONNTAG, Richard E.; BORGANAKKE, Claus. Fundamentos da Termodinâmica Clássica. 4. ed. São Paulo: Blucher, 1995. 597 p.

### Referências Bibliográficas 21

[10] MOREIRA, Ney Henrique; BASSI, Adalberto Bono Maurizio Sacchi. Sobre a primeira lei da termodinâmica. Química Nova na Escola, Campinas- Sp, v. 4, n. 24, p.3-15, 14 mar. 2001.

[11] OLIVEIRA, Mário José de. Termodinâmica. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2006. 376 p.



[12] SALINAS, Sílvio R.a.. Introdução à Física Estatística. 2. ed. São Paulo: Edusp, 2005. 447 p.