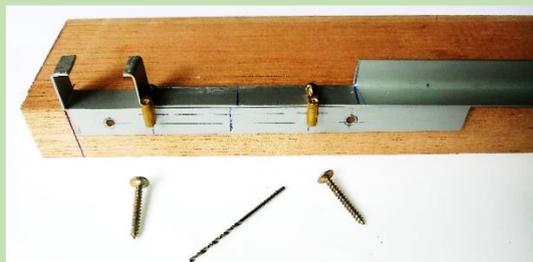
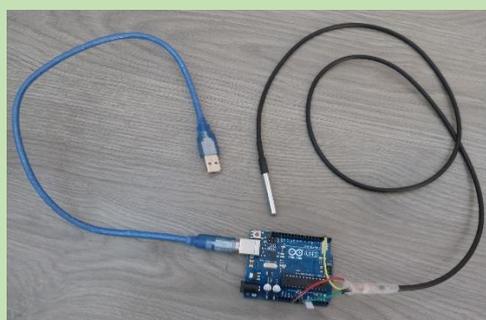


TERMOMETRIA

MANUAL DE CONSTRUÇÃO DE DILATÔMETROS E TERMÔMETRO COM APLICAÇÃO DO ARDUINO PARA AULAS EXPERIMENTAIS





**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF**

EDMAR PEREIRA DO REGO

TERMOMETRIA

**MANUAL DE CONSTRUÇÃO DE DILATÔMETROS E TERMÔMETRO COM APLICAÇÃO
DO ARDUINO PARA AULAS EXPERIMENTAIS**

Produto Educacional elaborado para avaliação através do programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Piauí, junto à Sociedade Brasileira de Física, em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

**TERESINA
2021**

Universidade Federal do Piauí (UFPI), *campus* Petrônio Portela
Reitor

Gildásio Guedes Fernandes

Sociedade Brasileira de Física – SBF

Presidente

Rogério Rosenfeld (IFT)

Mestrado Nacional Profissional em Ensino De Física – MNPEF

Coordenadora Nacional

Iramaia Jorge Cabral de Paulo (UFMT)

Coordenadora do polo

Cláudia Adriana de Sousa Melo (UFPI)

TERMOMETRIA

**MANUAL DE CONSTRUÇÃO DE DILATÔMETROS E TERMÔMETRO COM APLICAÇÃO
DO ARDUINO PARA AULAS EXPERIMENTAIS**

Elaboração

Edmar Pereira do Rego

Orientação

Prof.^l Dr. Francisco Ferreira Barbosa Filho (UFPI)

Revisão

***(Pendente de execução)**

Projeto gráfico – Capa – Diagramação

Edmar Pereira do Rego

E-mail

edmarpereiradorego@outlook.com

Sumário

página

Objetivo deste Trabalho	03
Ao Professor	05
A Termometria no Ensino Médio	09
Manual de Construção do Dilatômetro Linear	
Dilatômetro de Trilhos	13
Dilatômetro de Alavanca	34
O arduino e o sensor de temperatura como mediadores	
→ O que é o arduino	45
→ Trabalho e montagem do sensor de temperatura	46
→ Como adquirir o software arduino e programar o sensor	49
Realização da experimentação	
→ Procedimentos para experimentação com os dilatômetros	57
→ Gráficos no Microsoft Excel	61
Seqüência Didática	
1ª Etapa - Questionário: Fenômenos térmicos	67
2ª Etapa - Leitura: Lei do Equilíbrio Térmico e o conceito de Temperatura	70
3ª Etapa – Prática Experimental: Escalas de Temperatura e Lei do Equilíbrio Térmico	75
4ª Etapa – Leitura: Estudo da Dilatação Térmica dos Sólidos e Líquidos	78
5ª Etapa - Prática experimental: Dilatação Térmica Linear dos Sólidos	84
6ª Etapa – Prática experimental: Dilatação Volumétrica dos Líquidos	89
Referências	92
Apêndice A – Construção de termômetro a álcool	94

Objetivo deste Trabalho

Este trabalho tem o principal objetivo em auxiliar ao professor do ensino de Física no âmbito da Educação Básica, a nível de Ensino Médio, no que se diz respeito ao conteúdo da Termometria (parte da ciência física que engloba fenômenos relacionados ao conceito de temperatura) e à introdução do conhecimento básico da teoria atômica/molecular da matéria. Vale ressaltar que o entendimento da teoria atômica é, atualmente, necessário em outras áreas científicas como a Química e a Biologia. Para atingir tal objetivo, neste trabalho utilizaremos uma Seqüência Didática fundamentada numa concepção construtivista do processo ensino-aprendizagem utilizando recursos alternativos como um manual para a construção de aparatos experimentais, proporcionando métodos práticos de se confeccionar experimentos referentes ao conteúdo da Termometria, os mesmos abordados nos livros de Ensino Médio. Tais métodos serão potencializados pelo uso de recursos computacionais gráficos, o uso do microcontrolador Arduino UNO, e de sensores como instrumento de medição para obtenção e visualização da evolução das grandezas físicas evidenciadas no fenômeno. Criamos assim, segundo o teórico em Educação Lev Vigotski, um instrumento material de mediação que facilita a compreensão de algumas leis físicas da Termometria, estas são expressas de forma matemática. O objetivo é ilustrar estas leis físicas através da visualização de gráficos gerados pelo computador. Esta mediação pode ser motivadora no sentido de efetivar a aprendizagem e incentivar o senso de investigação, tanto em professores como em estudantes, através da Física Experimental. Acreditamos que este trabalho seja capaz de promover uma boa instrumentação no ensino da Física.

Ao Professor

Como sabemos, o ensino de Termometria é parte do objeto de estudo da Física e compõe o conteúdo curricular no Ensino Médio. Na rede de ensino pública da qual atuo como docente, esse conteúdo sempre é trabalhado no segundo ano (ou segunda série). Esta sequência curricular se justifica pela necessidade de conhecermos, *a priori*, os conteúdos referentes às leis universais da mecânica, as leis de conservação na natureza, e a compreensão de algumas grandezas físicas fundamentais como massa, força e energia, dentre outras. Assim, todo um conjunto de conhecimentos na área da Física deve ser ensinada ao estudante antes de abordarmos o conteúdo da Termometria.

O estudo da Termometria objetiva-se na competência por parte do aluno de compreender as diferentes transformações dos estados da matéria que estão sempre relacionadas aos conceitos das grandezas temperatura e calor. Além disso, no estudo da Termometria é fundamental a abordagem do conhecimento da teoria científica atual que explica a composição da matéria, a saber: o modelo dos átomos e moléculas. Tal modelo começou a ser evidenciado e aceito em experimentos do século XIX que envolviam fenômenos térmicos, comprovando um pensamento anterior, a saber, a teoria Cinética da Matéria. Atualmente, sabemos que a teoria atômica é uma teoria bastante ampla e bem consolidada para a descrição da natureza em sua essência.

Com base nestas considerações, este material traz a possibilidade de reforçar o processo ensino e aprendizagem, com a metodologia de práticas experimentais/demonstrativas, destinada a professores e estudantes do Ensino Médio que procuram por uma melhor compreensão dos conteúdos relativos à Termometria.

A apropriação dessa metodologia se refere a uma ação alternativa de se obter a instrumentação básica necessária, a saber, uma parte do laboratório de Física, referente ao estudo da Termometria. Vale ressaltar que, atualmente temos a oportunidade de encontrar objetos/materiais duráveis para a aquisição e confecção dessa instrumentação. Como exemplo, podemos encontrar com facilidade dispositivos hardware, software e multimídias, os quais servem para a compilação dos dados experimentais, gerando informações visuais/gráficas que ajudam na interpretação de um fenômeno, de forma a mostrar este aspecto experimental no estudo da Física, além de outros materiais próprios da estruturação dos aparatos experimentais como: fontes de calor, bases de apoio, tubos de metal, braçadeiras, molas, parafusos, recipientes e outros mais.

Faremos a orientação metodológica de modo que o uso do Arduino UNO (um microcontrolador) seja um elemento mediador no processo da coleta de medidas físicas, por intermédio de sensores apropriados (o sensor de temperatura DS18B20), finalizando com as representações gráficas geradas pelo monitor do computador.

Ao final deste manual sugerimos a você, professor, uma Sequência Didática, ou seja, uma Sequência Didática pode ser comparada a um planejamento do conteúdo a ser ensinado. Será estruturada em etapas (reuniões, encontros ou aulas), e munida dos materiais gráficos impressos

(apostila), e dos aparatos experimentais previamente construídos, todos estes necessários nas aulas. A parte escrita de nossa Sequência Didática consta da parte teórica e dos roteiros de prática para os experimentos. Seguem-se ainda questionários avaliativos destinados aos estudantes.

Procuramos redigir o conteúdo, o roteiro de prática, e, principalmente, os questionários fundamentados na teoria da aprendizagem de Lev Vigotski. Este teórico da educação humana possui uma obra literária muito vasta. Vigotski obteve muito conhecimento da sua época, dentre estes: Direito, Filologia, Artes, Literatura, e Psicologia, do qual este último ele se aprofundara. Dentre toda esta vastidão de pressupostos de sua obra, é importante ressaltar que para Vigotski a comunicação seria um fator potencial na construção do pensamento e da linguagem, sendo estas duas, as faculdades mentais que revelam a consciência do homem. Para ele, o homem, essencialmente, carece do meio social para o desenvolvimento de suas potencialidades internas, e como sabemos, este meio social está ligeiramente integrado ao episódio histórico e cultural do indivíduo. Importante ressaltar que, para Vigotski: “os fenômenos psíquicos não são eternos, fixos e imutáveis”, assim, supomos que o comportamento humano não se comporta semelhantemente à ideia de como a maioria das pessoas pensam sobre a imutabilidade dos fenômenos da natureza. Para esta descoberta, Vigotski se baseou na base epistemológica de pressupostos do materialismo histórico e nos princípios do materialismo dialético. De forma mais detalhada:

A sociedade é um complexo de processos que se define essencialmente pela existência de uma estrutura social específica e, como tal, institucionalizada, normatiza e legitima a vida das pessoas e suas relações. As relações do homem com o seu mundo são recíprocas e isso implica continuidade, simultaneidade e confronto dialético dos fatos. É, portanto, nessa interrelação que o homem vai construindo sua realidade, tanto a objetiva quanto a subjetiva.

A despeito de a realidade ser concebida como contradição (múltiplas determinações), totalidade (unidade dos contrários), transformação (evolução e revoluções) e movimento (processo), isto é, como construção social e histórica, ela é concretamente percebida e, portanto, passível de cognição. (CARVALHO, 2004; IBIAPINA, 2004; p.186)

Assim, podemos supor que a origem e desenvolvimento de um determinado conhecimento científico também pode ser comparado à maneira como Vigotski constrói sua teoria acerca da aprendizagem e do desenvolvimento do pensamento humano, nos seus diferentes tipos de conhecimento. Resumindo, o conhecimento científico é uma construção humana que depende do meio histórico-cultural do qual o indivíduo está inserido, as áreas do conhecimento como a ¹História da Ciência, e mesmo a ²Epistemologia podem nos garantir esta afirmação.

1- é o estudo das formas de elaboração, transformação e transmissão de conhecimentos sobre a natureza, as técnicas e as sociedades, em diferentes épocas e culturas; 2 – é o ramo da filosofia que analisa as condições e os limites da validade dos conceitos.

Nosso trabalho tem como principal aporte teórico a mediação descrita por Vigotski, pois nessa fundamentação é que se encontra atrelado o uso do aparato experimental proposto em nosso manual. Citemos um exemplo que pode nos ajudar de forma prática e resumida o que entendemos por mediação segundo Vigotski: a cultura científica há tempos já impregnou o legado do uso da palavra temperatura, praticamente todas as pessoas civilizadas conhecem este conceito, da forma que, a palavra temperatura pode suprimir as palavras quente e frio. Por exemplo, sabemos que é mais compreensível falar em menor ou maior temperatura quando nos referimos ao estado térmico de um objeto, do que tentar especificar como muito quente, ou menos quente. As duas palavras, quente e frio, especificam uma qualidade de sensação térmica que um objeto pode apresentar. De uma forma geral, muitas pessoas usam estas expressões, quente e frio, em situações diárias, pois estas palavras espontâneas nos remetem a uma linguagem imediata ao nosso sentido intuitivo do tato. Entretanto, pela convivência com a cultura científica, as pessoas confiam no conhecimento de que o grau das sensações que permeiam entre quente e frio pode ser bem entendido e quantificado quando falamos em temperatura. Isto, é claro, é evidenciado pelo uso dos termômetros, um objeto material mediador para a compreensão do conceito da temperatura. Isto, é claro, é evidenciado pelo uso dos termômetros, um objeto material mediador para a compreensão do conceito da temperatura.

Desde o início da nossa Sequência Didática até o final trataremos no cuidado da abordagem do conceito de temperatura. As leituras compreendem os conteúdos adotados nos livros didáticos referentes ao conteúdo da Termometria. Os questionários da Sequência Didática visam: sondar, construir, e avaliar o aprendizado básico necessário aos estudantes. As três práticas experimentais objetivam a reconstrução do conhecimento, familiarização com as grandezas físicas, e ao incentivo da criatividade e à investigação no que se diz respeito à elaboração de práticas experimentais/demonstrativas científicas!

Bom Trabalho!

A Termometria no Ensino Médio

A Termometria é uma parte dos estudos referentes à Termologia (ciência do estudo dos fenômenos térmicos), assim como as demais partes: a Calorimetria e a Termodinâmica. A Termometria trata especificamente do conceito de Temperatura e do fenômeno da dilatação térmica dos materiais sólidos e líquidos, estes foram a base para o funcionamento dos primeiros tipos de termômetros. Habitualmente, a grande maioria dos livros didáticos, pelo menos os nacionais, sempre dispõem do conteúdo da Termologia no 2º ano, ou série, do Ensino Médio, isto se deve a uma organização lógica de sucessão de conceitos na ciência Física. Na história da ciência Física compreende-se que o conceito de energia seja anterior ao conceito de calor, razão pela qual no 1º ano sempre é priorizado o conteúdo referente à descrição do movimento dos corpos materiais, suas causas, às leis de conservação, e a gravitação universal. Na história da ciência, no decorrer do século XIX, verifica-se que foi notório o esforço da comunidade científica em estabelecer uma relação entre o conceito de energia com a ideia de que o calor seria uma substância fluídica que permeia todos os corpos materiais. Todos os esforços resultaram de que o calor era uma forma de energia proveniente do movimento desordenado de muitas partículas que não eram vistas simplesmente com os olhos. Os cientistas tiveram que adequar o modelo atômico já imaginado pelos gregos ao método matemático, criando e desenvolvendo assim a mecânica estatística. No referido século ocorreram muitos avanços nesta área da ciência Física, uma aplicação direta é evidenciada pela explicação teórica mais coerente sobre o funcionamento das máquinas térmicas e sobre a padronização de uma escala de temperatura absoluta. Com o novo conceito de calor e a definição de temperatura foram criadas as especificidades (constantes) de várias substâncias puras como o calor específico, a condutividade térmica, a capacidade térmica, dentre outras, além de admitir o modelo atômico/molecular da matéria, tal modelo revolucionou todas as outras ciências de base como a Química e a Biologia.

A sequência histórica do desenvolvimento do conhecimento da Física justifica a sequência de conteúdo curricular dos livros didáticos no Ensino Médio, ao longo das suas três séries percebemos esta sequência. Outra razão para esta sequência curricular é o grau de complexidade das grandezas físicas. Por exemplo, no 1º ano é notório a simplicidade de se trabalhar com as grandezas físicas fundamentais como o tempo, o comprimento, e a massa. Estas grandezas podem ser medidas com instrumentos de medidas adequados e de fácil aquisição, além de serem bem compreendidas pelas experiências cotidianas de qualquer pessoa. Numa sequência construtiva do currículo do 1º ano é que apresentamos as demais grandezas, ditas “derivadas”, como a força, a energia, e o momento linear (quantidade de movimento).

Verificando os textos normativos nacionais sobre o conteúdo curricular do ensino de Física para o Ensino Médio, tomamos como base os PCN's⁺, os quais são textos que constituem de orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, os PCN's.

Vejamos suas orientações fundamentais:

* Espera-se que ele, ao final da educação básica, adquira uma compreensão atualizada das hipóteses, modelos e formas de investigação sobre a origem e evolução do Universo em que vive, com que sonha e que pretende transformar. Assim, Universo, Terra, e Vida passa a constituir mais um tema estruturador. Nessa perspectiva, foram privilegiados seis temas estruturadores com abrangência para organizar o ensino de Física:

F1 Movimentos: variações e conservações

F2 Calor, Ambiente, Fontes e Usos de Energia

F3 Equipamentos Eletromagnéticos e Telecomunicações

F4 Som, Imagem e Informação

F5 Matéria e Radiação

F6 Universo, Terra e Vida

Esses temas apresentam uma das possíveis formas para a organização das atividades escolares, explicitando para os jovens os elementos de seu mundo vivencial que se deseja considerar. Não se trata, certamente, da única releitura e organização dos conteúdos da Física em termos dos objetivos desejados, mas serve, sobretudo, para exemplificar, de forma concreta, as possibilidades e os caminhos para o desenvolvimento das competências e 20 habilidades já identificadas. Exemplificam também como reorganizar as áreas tradicionalmente trabalhadas, como a Mecânica, Termologia, Eletromagnetismo e Física Moderna, de forma a atribuir-lhes novos sentidos. (BRASIL, 2002, p. 19)

Tomando como base o texto citado acima, estes seis temas abrangem todo o conteúdo tradicional da Física, o que podemos observar como novidade é a objetivação que esses temas têm em apontar para uma aplicação direta das habilidades e competências que os PCN's procuram incorporar ao estudante. E, além dessa objetivação das habilidades e competências, há uma possível flexibilização dos conteúdos, das sequências curriculares, e, podemos assim expressar, na metodologia do ensino da ciência Física.

Sendo assim, nosso trabalho caracteriza-se então sob a orientação do currículo tradicional em Física, no que se diz respeito à abordagem da Termometria, mas com uma ferramenta inovadora que consiste na utilização do microcontrolador Arduino e do sensor de temperatura na realização de práticas experimentais, esta ferramenta tem um diferencial com respeito as práticas experimentais tradicionais, uma vez que, a utilização do Arduino e de uma variedade de sensores específicos podem proporcionar ao estudante, e ao professor, a possibilidade de se confeccionar novos aparatos experimentais, ou mesmo, novos aparatos de aplicação tecnológica. Dessa forma geramos um conjunto de novas técnicas, e mesmo de conhecimento.

No sentido de enriquecer esta perspectiva do ensino de Física através da experimentação achamos conveniente abordar a fundamentação de Borges (2002) a respeito dos diversos tipos de laboratórios. No seu trabalho é discutido o papel das atividades práticas no ensino de ciências, chegando a descrever algumas alternativas potencialmente mais relevantes em contraste com algumas atividades estruturadas pela tradição. Borges (2002) defende a adoção de uma ampla gama de atividades prático-experimentais visando, com isso, desenvolver interpretações e ideias sobre observações e fenômenos

com o propósito de produzir conhecimento. Para Borges (2002) “[...] a ciência é uma das forças transformadoras do mundo[...]”.

Esta afirmação de Borges (2002) têm um paralelo de ideais que podem ser encontrados nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (MEC, 1999) que propõe que o ensino de ciências deve “[...] propiciar ao educando compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade.” (p.107).

No laboratório Tradicional o estudante realiza práticas geralmente em grupos seguidas de um roteiro para observação e obtenção de medidas já determinadas pelo professor para comprovação das leis e teorias já estudadas em sala de aula. Para Tarciso as principais críticas para tal laboratório é a não efetivação das práticas correlacionadas aos conceitos físicos; e muitas delas não são relevantes do ponto de vista dos estudantes, já que tanto o problema como o procedimento já estão determinados. O desenvolvimento da ciência não ocorre dessa maneira, tal desenvolvimento tem origem no acúmulo de observações de um fenômeno por um pensamento livre de pré-concepções e sentimentos em que se aplica o método científico. Na realidade, os cientistas podem ter anos de tentativas, erros, reflexões e disposição para resolver um problema. Para alguns filósofos como Popper, Russel-Hanson, Feyeabend, Kuhn e Toulmin, a imagem da ciência nos livros didáticos está superada.

Sendo assim, Borges (2002) propõe alternativas para o laboratório escolar, na qual busquemos métodos que exprimem a ideia básica das concepções construtivistas, aquela em que o aluno constrói seu próprio conhecimento através da ação. Tais métodos consistem em demonstrações e práticas experimentais, mediadas pelo professor, no intuito de se reforçar a investigação. Ou seja, o professor em conjunto com os estudantes poderia elaborar práticas mais abertas.

Em seu artigo, Borges (2002) resume de acordo com a tabela abaixo, os níveis de investigação no laboratório de ciências:

Nível de Investigação	Problemas	Procedimentos	Conclusões
Nível 0	Dados	Dados	Dados
Nível 1	Dados	Dados	Em aberto
Nível 2	Dados	Em aberto	Em aberto
Nível 3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

De acordo com esta tabela nosso trabalho se enquadra no Nível 1. No quesito do nível de investigação, deixamos perguntas abertas no questionário de nossa Sequência Didática de maneira que o estudante exprima suas opiniões, como por exemplo, como elaborar outro tipo da prática, dentre outras instigações.

Manual de Construção do Dilatômetro Linear

1 – Dilatômetro de Trilhos

2 – Dilatômetro de Alavanca

1 - Dilatômetro de Trilhos

O fenômeno da dilatação térmica é muito conhecido na história, muitos sabiam que aquecendo um objeto de determinado material conseguia-se um pequeno aumento do seu tamanho, em média 0,6% do comprimento inicial, portanto não é perceptível com o nosso olhar direto. O dilatômetro linear é um dispositivo projetado para se medir a variação do comprimento (ΔL) em função da mudança de temperatura (ΔT) em uma barra de um material homogêneo, de maneira que se possa verificar a relação linear dessas duas grandezas.

Existem muitos ocorridos na história que evidenciam a dilatação/contração provocados por aquecimento/resfriamento. Um destes, e bem antigo, por exemplo, era a técnica que alguns utilizavam para se quebrar enormes pedras. Fazia-se um aquecimento através de uma fogueira numa região bem restrita, ou localizada, de maneira que a dilatação da parte aquecida facilitasse a quebra da pedra, e, se o aquecimento não bastasse, então esfriava-se a região aquecida com a água obtendo-se maiores variações de temperatura, facilitando mais ainda na quebra da pedra na região localizada.

Ao longo da história este fenômeno foi muito observado e utilizado com várias técnicas de construção de instrumentos, muitos já conheciam os efeitos de uma dilatação/contração de um material homogêneo. Especificamente, no início do século XIX, Jean Marie Duhamel (1797-1872) e Franz Ernest Neuman (1798-1895) descobriram que a variação de comprimento de um fio metálico homogêneo não ocorre somente pela ação da tensão mecânica exercida sobre o fio, como sugeria Thomas Young (1773-1829). Eles determinaram uma expressão matemática que relacionava a variação da temperatura como um outro fator também responsável pela deformação do fio homogêneo. Sendo assim, Duhamel e Neumann chegaram à conclusão de que a distensão de um fio era proporcional à variação térmica (ΔT), ao comprimento inicial do fio (L_0), e a uma constante α (atualmente conhecido como coeficiente de dilatação linear), que é uma grandeza relativa às propriedades do material que constitui o fio. A equação empírica, atualmente utilizada, para a dilatação/contração térmica em um sólido homogêneo é conhecida como equação de Duhamel-Neumann, conhecemos por:

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

Para limites de temperatura cujo valor seja próximo do ponto de fusão de um sólido homogêneo fica difícil medir a dilatação deste, pois sua dureza reduz muito, além de considerarmos os efeitos de transmissão do calor para a base que sustenta a amostra a ser dilatada (superfícies de contato externo). Neste caso, outras técnicas teriam de ser usadas para testar o rigor da equação empírica de 1ª ordem da qual trabalharemos no nosso manual.

Na literatura da história da ciência, a primeira explicação para o fenômeno da dilatação térmica de sólidos e líquidos tinha um caráter dialético empirista. Trata-se da aceitação da teoria do “calórico”, esta teoria foi anterior à teoria cinética da matéria, entre os séculos XVI e XVII. Vejamos a primeira formulação para o calor na seguinte citação:

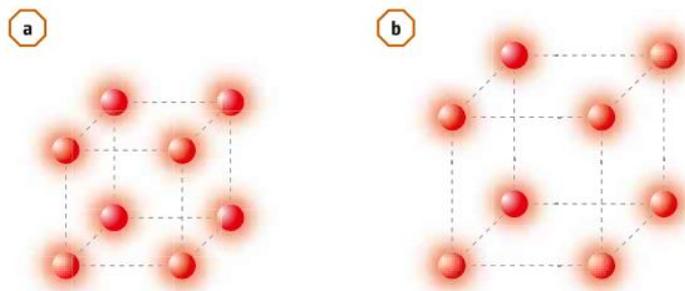
A concepção do calor como uma substância estava em consonância com o conceito filosófico de conservação da matéria aceito na época. Nos experimentos com misturas, o calor não poderia ser criado nem destruído, a quantidade de calor permaneceria constante. A mesma suposição a respeito do “princípio de conservação do calor” já havia sido feita por Brook Taylor (1685-1731) em seus experimentos que envolviam misturas de volumes desiguais de água quente e fria. O complemento de Black foi generalizar a ideia para quaisquer misturas de diferentes líquidos e volumes. Desse modo, ele mostrou que, apenas para misturas de um mesmo líquido, a quantidade de calor necessária para aumentar ou diminuir de um mesmo valor a temperatura das substâncias envolvidas é diretamente proporcional às suas quantidades de matéria, ou aos seus pesos, ou, sendo os volumes iguais, às suas densidades. (CARVALHAIS, 2012, p. 1037)

A citação acima declara que, por estas épocas, há a descoberta da distinção entre os conceitos de calor e temperatura, através de experimentos de aquecimento da água e outras substâncias puras. O calórico seria um fluido existente em todos os corpos materiais, muito associado à ideia de que o calor se encontra no interior de todos os corpos materiais. A dilatação térmica, já bem conhecida na época, teve sua explicação baseada na formulação de que um corpo, ao receber calórico de um segundo corpo, tendia a expandir seu volume em decorrência de que o calórico absorvido causava um distanciamento das partes (elementos) constituintes do corpo. A teoria do calórico teve muitos defensores, estes se empenharam muito em mostrar e demonstrar de forma experimental, quantitativa e matemática as suas formulações, mas no século seguinte, século XVIII, os esforços da comunidade científica chegam à conclusão de que o calor se trata de uma forma de energia, e não como uma substância fluídica que provoca fenômenos térmicos ao sair de um corpo para outro. Todos os corpos materiais teriam sua energia térmica, energia esta que seria a soma de todas as energias cinéticas das partículas constituintes de cada corpo material. O calor seria a transmissão da energia térmica de um corpo para outro pelo contato de suas superfícies, dessa forma o calor é entendido como a transferência das energias cinéticas entre as partículas dos corpos. A teoria cinética da matéria é comprovada com a formulação teórica do “modelo do gás ideal”, esta era a mais consistente com os experimentos. A lei de “conservação da energia” é postulada e muitos cientistas se empenham no desenvolvimento da mecânica estatística para o estudo das propriedades da matéria.

Atualmente a dilatação térmica é teoricamente explicada pelo aumento da vibração dos átomos, ou moléculas, em torno de suas posições de equilíbrio. As posições de equilíbrio destes átomos, ou moléculas, estão localizadas num formato de rede tridimensional com formatos regulares (os cristais) e com formatos quase regulares (sólidos amorfos). Vejamos a Figura 1, em a) vemos uma rede

cristalina cúbica, em b) as posições de equilíbrio (os vértices) estão mais afastadas. Para valores de temperatura da ordem de 80 K (-193 °C) em um sólido cristalino não-harmônico (por exemplo, os metais) a amplitude média de vibração das partículas oscilantes é diretamente proporcional apenas à temperatura. Para valores próximos ao zero absoluto (-273 °C) o movimento dos átomos/moléculas constituintes da rede tridimensional deve ser tratado pela teoria quântica. Próximo do zero absoluto os átomos, ou moléculas, emitem frequências de vibração bem definidas e de forma discreta que interagem entre si. Nesse estado específico da matéria, a Física Estatística aplicada a teoria Quântica formula o modelo do “gás de fônons”. Um fônon é uma quase-partícula que apresenta um quantum de vibração em uma região do sólido cristalino.

Figura 1.11 – a) átomos com menor temperatura b) átomos com maior temperatura



Fonte: GUIMARÃES, Osvaldo; et all; **Física**; 2ª Ed.; Ática – São Paulo, 2016 (2020)

Trataremos agora em mostrar o funcionamento de um dilatômetro linear sob variações de temperaturas entre 5°C à 100°C, este limite superior não é tão grande comparado à fronteira que estará em contato com o material a ser dilatado, ou contraído.

Especificamente, o Dilatômetro de Trilhos utiliza dois trilhos (que são cantoneiras de alumínio) e um pequeno eixo circular (alfinete). Este eixo situa-se entre os dois trilhos e rotaciona mediante atrito estático quando um dos trilhos se desloca. Com isso podemos mostrar o aumento (ΔL) de uma barra de metal através do deslocamento angular de um ponteiro fixado no referido eixo.

A relação geométrica usada para medir a variação do comprimento do tubo, mediante a variação da temperatura, será a relação do arco de uma circunferência com o ângulo varrido pelo raio, que no caso, é o ponteiro fixado no alfinete do nosso dilatômetro linear.

No medidor já construído, o alfinete, do qual o ponteiro está fixo, tem a forma de um cilindro cuja secção reta transversal é um círculo. A figura 2 mostra o perfil do alfinete.

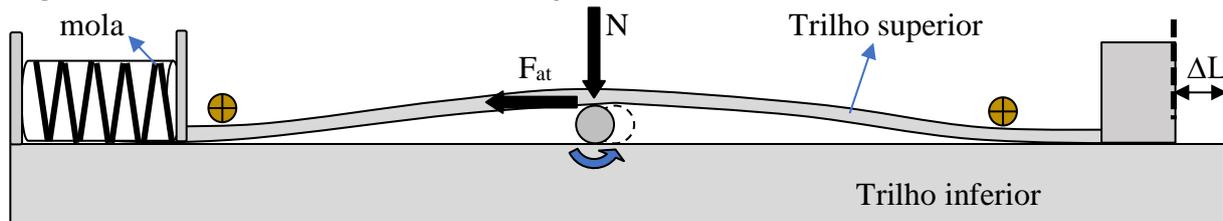
Figura 2 – Perfis do alfinete



Fonte: Autor (2020)

A Figura 3 mostra as duas cantoneiras de alumínio (os trilhos), sobrepostas uma na outra, estas farão forças de contato (N) e atrito estático (F_{at}) no alfinete de maneira que este se desloque e rotacione no sentido anti-horário, sem deslizar. O trilho superior recebe um pequeno deslocamento ΔL (sendo $\Delta L=L_f - L_i$) empurrado pelo tubo de metal quando aquecido. Quando o tubo é resfriado sua extremidade volta, por contração, então a mola exerce uma força restauradora fazendo com que o trilho superior se desloque no sentido contrário rotacionando o alfinete, agora no sentido horário.

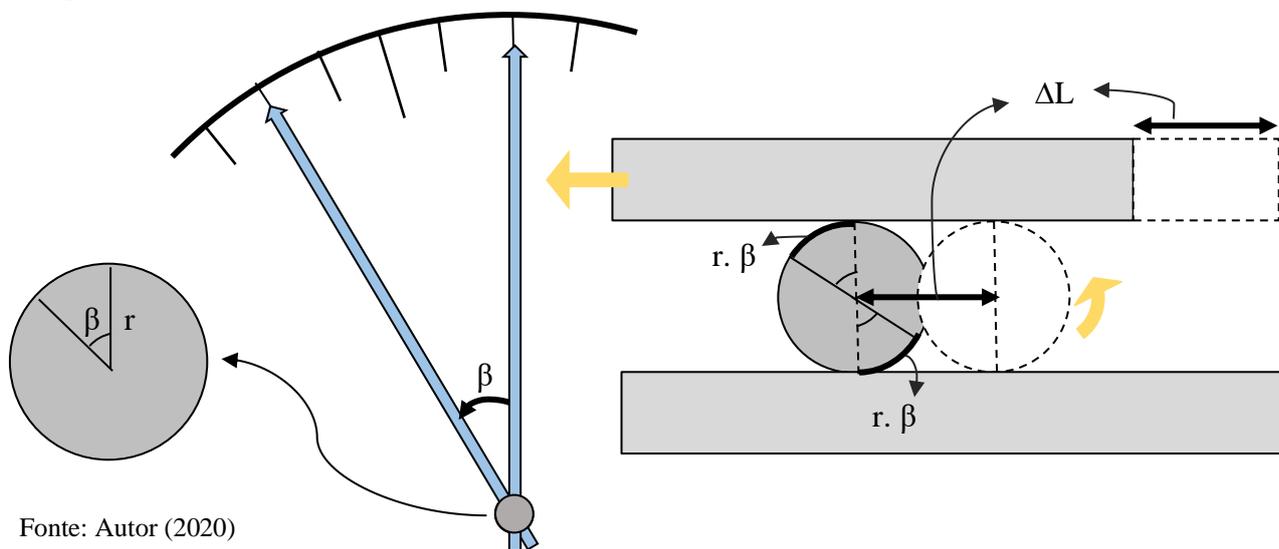
Figura 3 – Dinâmica do medidor da dilatação



Fonte: Autor (2020)

A medida da variação do comprimento do tubo de metal ficará em função do ângulo de rotação β do ponteiro indicado no transferidor, este ângulo é o mesmo da secção transversal do alfinete, pois ambos devem estar fixados um no outro. A Figura 4 mostra com detalhes a geometria do movimento do alfinete com o ponteiro, e do alfinete com os dois trilhos.

Figura 4 – Movimento do alfinete



Fonte: Autor (2020)

A dilatação (ΔL) pode ser obtida conhecendo-se o raio r do cilindro (alfinete) e a medida do ângulo de rotação β mostrada no transferidor:

$$\Delta L = 2 \cdot r \cdot \beta$$

O ângulo β será medido em graus e deve ser convertido em radianos (rad) para que possamos calcular o valor do arco da circunferência.

Numa regra de três simples dizemos que β corresponde a “ Δn ” graus do transferidor, assim como $\pi \sim 3,14$ corresponde a 180 graus:

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta \rightarrow \Delta n \text{ graus} \\ 3,14 \rightarrow 180 \text{ graus} \end{array} \right\} \Rightarrow \beta = \frac{3,14 \cdot \Delta n}{180} \Rightarrow \beta = 0,01744 \cdot \Delta n$$

Voltando ao cálculo da variação do comprimento do tubo, substituímos o valor do raio do alfinete que é de $r = 0,45 \text{ mm}$ e a variável $\beta = 0,01744 \cdot \Delta n$, então fica:

$$\Delta L = 2 \cdot r \cdot \beta$$

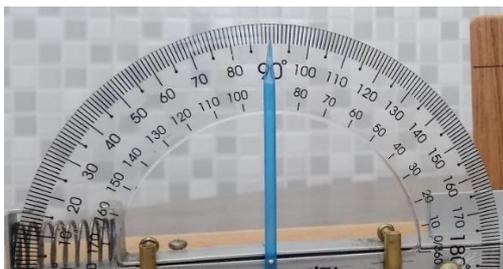
$$\Delta L = 2 \cdot 0,45 \cdot 0,0174 \cdot \Delta n$$

$$\Delta L = 0,0157 \cdot \Delta n$$

Isto significa que para a variação do ângulo de $\Delta n = 1$ grau observado no transferidor corresponde a variação de 0,0157 mm do comprimento do tubo. Se considerarmos a variação de 0,5 grau como uma medida bem determinada no transferidor então teremos uma precisão de 0,0078 mm na variação do comprimento inicial do tubo!

Vamos usar um exemplo para medir a variação “ ΔL ” em função dos graus “ Δn ” mostrados no transferidor. Sejam as leituras inicial e final no transferidor dadas nas fotos 1 e 2 logo abaixo:

Foto 1 – Ponteiro em 90°



Fonte: Autor (2020)

Foto 2 – Ponteiro em 112°



Fonte: Autor (2020)

Vemos rapidamente pelas fotos A e B que o deslocamento angular, ou seja, o valor “ Δn ” (em graus) foi de:

$$\Delta n = 22^\circ,$$

$$\text{pois: } \Delta n = 112^\circ - 90^\circ = 22^\circ$$

Finalmente, usando a fórmula encontrada pela relação geométrica da agulha, o ponteiro e os trilhos de alumínio, temos:

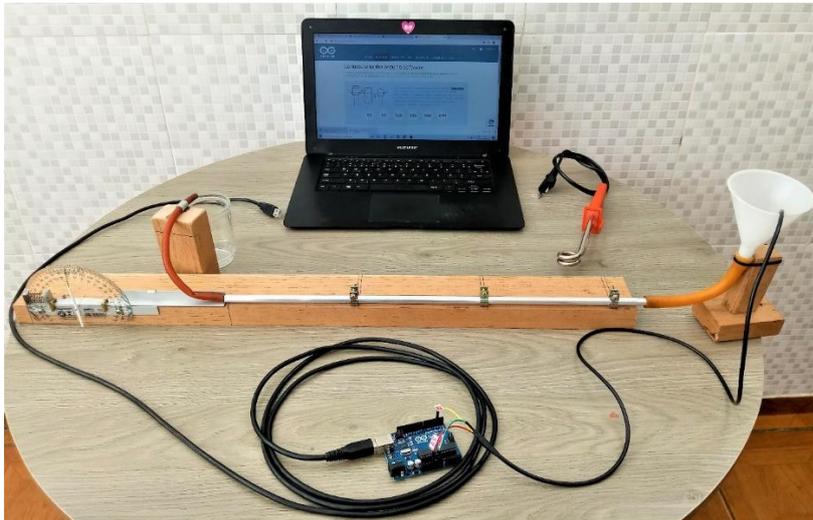
$$\Delta L = 0,0157 \cdot \Delta n \quad \text{fica:}$$

$$\Delta L = 0,0157 \cdot 22 = 0,3454 \text{ mm}$$

Ou seja, no exemplo acima vemos um deslocamento angular no “sentido horário” de $\Delta\theta = 22^\circ$, temos, supostamente, uma “contração” do comprimento inicial do tubo de $\Delta L = 0,3454 \text{ mm}$.

Se o deslocamento angular ocorresse no sentido “anti-horário” teríamos uma “dilatação” do comprimento inicial do tubo.

Foto 3 - Dilatômetro Linear com Trilhos

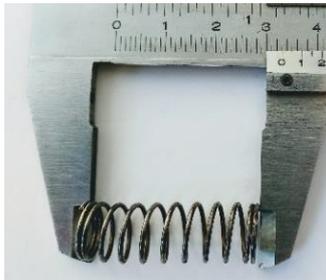


Fonte: Autor (2020)

↳ **Materiais**

1º) 01 pequena mola de aço com dimensões: comprimento aproximado de 3,3 cm; diâmetro externo de 1,1 cm; diâmetro interno de 0,9 mm; espessura do fio de aço de 1,0 mm

Foto 4 – Comprimento da mola



Fonte: Autor (2020)

Foto 5 – Diâmetro da mola

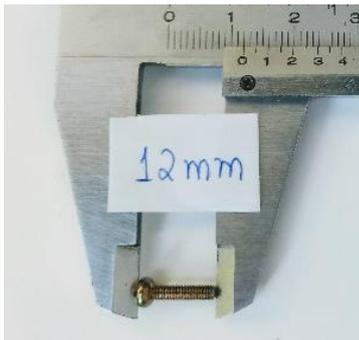


Fonte: Autor (2020)

* Encontramos em comerciais que vendem parafuso

2º) 04 pequenos parafusos nas dimensões de 2,5 mm de diâmetro e 1,2 cm de comprimento

Foto 6 – Comprimento do parafuso



Fonte: Autor (2020)

Foto 7 – Diâmetro do parafuso



Fonte: Autor (2020)

3º) 02 conectores para fios elétricos com parafusos de 2,5 mm de diâmetro

*Devemos retirar o plástico da parte metálica. Vejamos a Figura 8;

*Deixamos um parafuso do conector e colocamos outro diferente com comprimento 1,2 cm. Vejamos a Figura 10.

Foto 8 – Plástico serrado



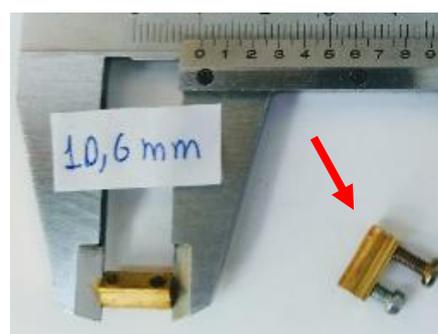
Fonte: Autor (2020)

Foto 9 – Distância dos parafusos



Fonte: Autor (2020)

Foto 10 – Diferentes parafusos



Fonte: Autor (2020)

4º) 50 cm de tubo de cobre de diâmetro de 9,5 cm (cano de cobre utilizado em condicionadores de ar tipo Split), e 50 cm do tubo de alumínio de diâmetro de 9,5cm (pode ser de cano de antiga antena receptora de TV analógica). *Podemos adquirir numa distribuidora de alumínio também.

Foto 11 – Tubo de cobre e alumínio



Fonte: Autor (2020)

5º) 40 centímetros de cantoneira de alumínio com perfil 1/2" x 1/16" (13mm x 1mm)

Figura 12 – Cantoneira de alumínio



Fonte: Autor (2020)

* Encontramos em distribuidoras que vendem alumínio, são vendidas por peças de 6,0 metros

6º) 01 alfinete de 0,90 mm de diâmetro, e 01 tubo de cotonete

Foto 13 – Alfinete



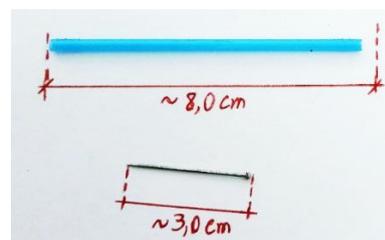
Fonte: Autor (2020)

Foto 14 – Diâmetro do alfinete



Fonte: Autor (2020)

Foto 15 – Tubo de cotonete



Fonte: Autor (2020)

7º) 02 tubos de látex (mangueira de sorro) com diâmetro de 9,0 mm e comprimento de 20,0 cm; e 01 tubo de látex com 14,0 mm de diâmetro e 15,0 cm de comprimento.

Foto 16 – Tubos de látex (diâm. ext. 9 mm)



Fonte: Autor (2020)

Foto 17 – Tubo de látex (diâm. ext. 14 mm)



Fonte: Autor (2020)

8º) 01 funil de plástico médio, e 01 abraçadeira de plástico

Foto 18 – Funil de plástico



Fonte: Autor (2020)

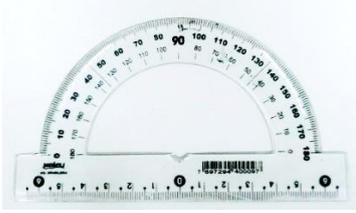
Foto 19 – Abraçadeira de plástico



Fonte: Autor (2020)

9º) Um transferidor de plástico escolar

Foto 20 – Transferidor



Fonte: Autor (2020)

10º) Tábua de madeira nas dimensões 100,0 x 8,0 x 3,0 cm

Foto 21 – Tábua de cedro



Fonte: Autor (2020)

* Encontramos numa serraria, recomenda-se uma madeira não muito frágil, nem muito rígida. O cedro é um bom exemplo de madeira utilizada, mostrada na foto acima

11º) Três abraçadeiras modelo Simplex para mangueira, com diâmetro variando de 12-14 mm

Foto 22 – Abraçadeiras tipo Simplex (12-14 mm)



Fonte: Autor (2020)

*Encontramos em comerciais para parafusos

12º) 07 parafusos para madeira nas dimensões: 3,0 mm de diâmetro e 2,7 cm de comprimento

Foto 23 – Parafuso para madeira



Fonte: Autor (2020)

* Encontramos em comerciais para parafusos

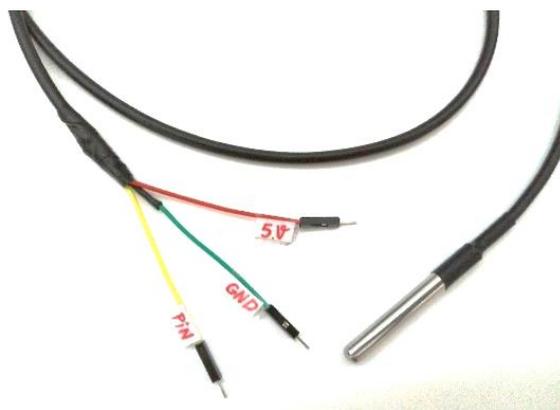
13º) Placa arduino com cabo, sensor de temperatura modelo DS18B20, e resistência de 4,7 KΩ

Foto 24 – Arduino Uno e cabo USB



Fonte: Autor (2020)

Foto 25 – Sensor DS18B20



Fonte: Autor (2020)

Foto 26 – Resistor de 4,7 KΩ



Fonte: Autor (2020)

14º) Ebulidor de água

Foto 27 – Ebulidor de água



Fonte: Autor (2020)

15º) Computador com multimídia (teclado, mouse e monitor)

Foto 28 - Notebook



Fonte: Autor (2020)

Trabalho e montagem

Para construirmos o dilatômetro de trilhos devemos ter experiência no manuseio dos seguintes instrumentos: alicate de aço, furadeira elétrica (com broca de aço de 3,2 mm de diâmetro, e broca de aço de 1,6 mm de diâmetro), arco com serra de aço, régua milimétrica ou paquímetro, régua, caneta ou lápis, martelo e um prego para ripa, lixa para ferro nº 80, tesoura de aço, chave estrela, chave de fenda, cola instantânea e uma abraçadeira de plástico.

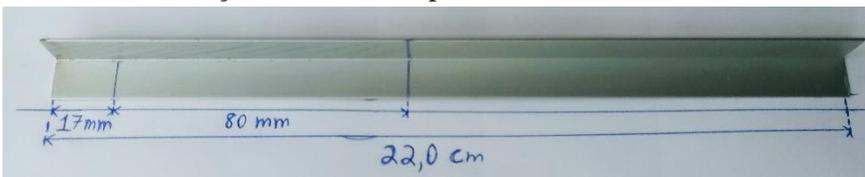
Subdividiremos em duas partes: construção do “medidor” da dilatação; e construção da “base de fixação”. No final destas duas partes de montagem, disponibilizaremos um link eletrônico que dá acesso a uma Pasta (Vídeos – Dilatômetro de Trilhos) com vídeos que mostram a montagem.

1ª Etapa: construção do “medidor” da dilatação do tubo de metal

Utilizaremos a cantoneira de alumínio:

- Serramos uma peça de 22,0 cm para o trilho superior. Fazemos marcações com as medidas indicadas na foto abaixo.

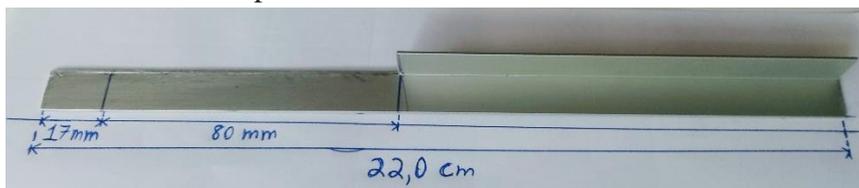
Foto 29 – Marcações do trilho superior



Fonte: Autor (2020)

- Novamente serramos e lixamos de acordo com a foto abaixo.

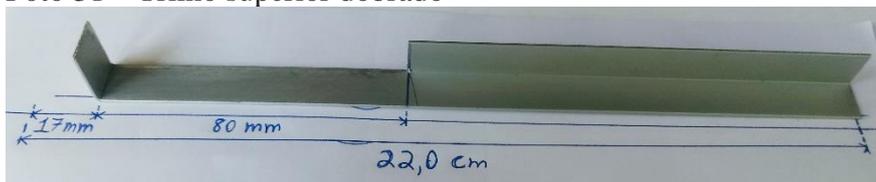
Foto 30 – Trilho superior serrado



Fonte: Autor (2020)

- Dobramos com ajuda do alicate de acordo com a foto ilustrada abaixo.

Foto 31 – Trilho superior dobrado

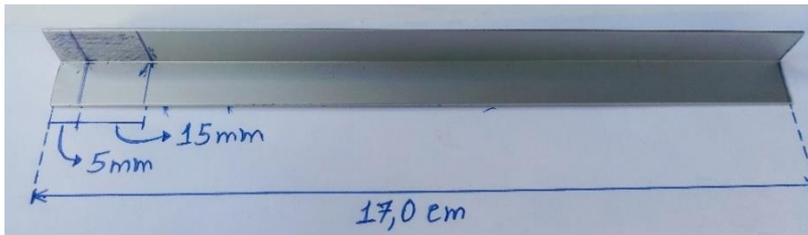


Fonte: Autor (2020)

Como o restante da cantoneira:

- Faremos o trilho inferior. Serramos e fazemos as devidas marcações com caneta/lápis para as medidas da foto abaixo.

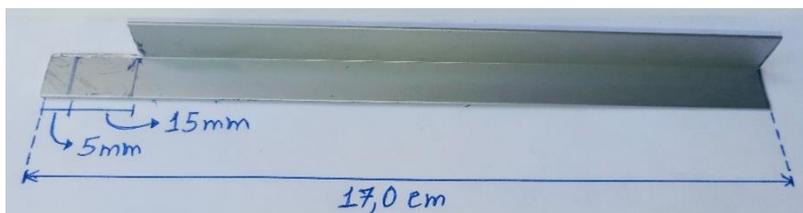
Foto 32 – Marcações para o trilho inferior



Fonte: Autor (2020)

- Serramos e lixamos de acordo com a foto abaixo.

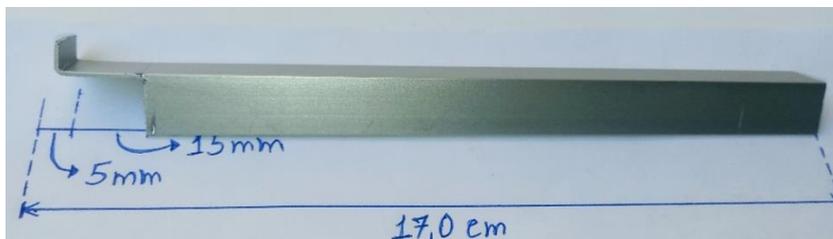
Foto 33 – Serrando o trilho inferior



Fonte: Autor (2020)

- Dobramos com o alicate nas marcações mostradas nas Fotos 34 e 35 abaixo.

Foto 34 – Dobra de 5 mm



Fonte: Autor (2020)

Foto 35 – Dobra de 15 mm



Fonte: Autor (2020)

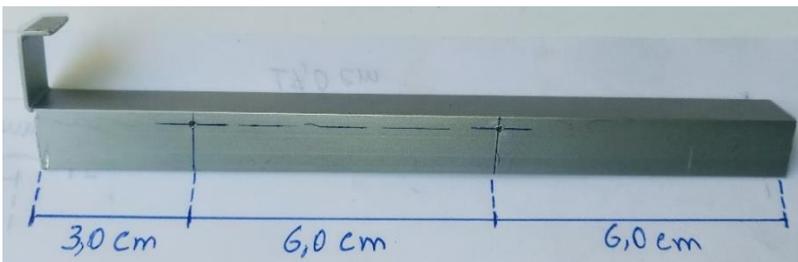
- Marcamos as medidas para dois furos com a broca de 3,2 mm de diâmetro no trilho inferior.
* No lugar do furo inicialmente o marcamos com ajuda do prego e martelo para depois furarmos com a broca e furadeira. A localização dos furos é mostrada nas Fotos 36, 37 e 38 abaixo.

Foto 36 – Altura do furo



Fonte: Autor (2020)

Foto 37 – Distâncias dos furos



Fonte: Autor (2020)

Foto 38 – Furos com broca de 3,2 mm



Fonte: Autor (2020)

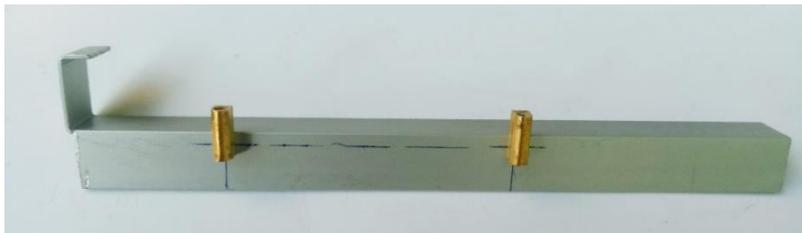
- Em seguida parafusamos os conectores de fios elétricos com os dois parafusos menores de maneira que os conectores fiquem bem fixados. As figuras 39 e 40 mostram como deve ficar os conectores elétricos no trilho inferior.

Foto 39 – Parafusos menores conectados



Fonte: Autor (2020)

Foto 40 – Conectores elétricos fixados no trilho inferior



Fonte: Autor (2020)

* Os dois parafusos maiores de 1,2 cm ficarão dispostos na forma abaixo. Não é necessário deixá-los muito apertados no conector de fios, pois estes parafusos servirão de apoio para que a outra peça de alumínio deslize sobre a outra peça. As cabeças destes dois parafusos devem ficar cerca de 2,0 mm suspensas, como mostram as Fotos 41 e 42 a seguir. Podemos com isso encaixar a mola de aço (Foto 43).

Foto 41 – Conectores com parafusos maiores



Fonte: Autor (2020)

Foto 42 – Trilho superior colocado



Fonte: Autor (2020)

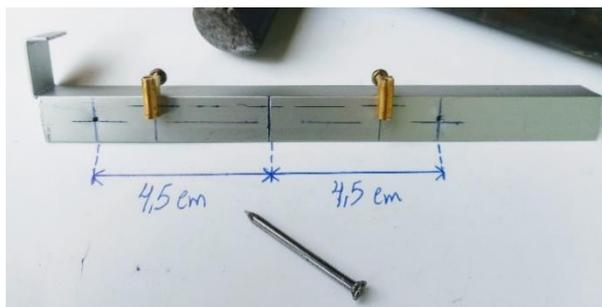
Foto 43 – Mola colocada entre os trilhos



Fonte: Autor (2020)

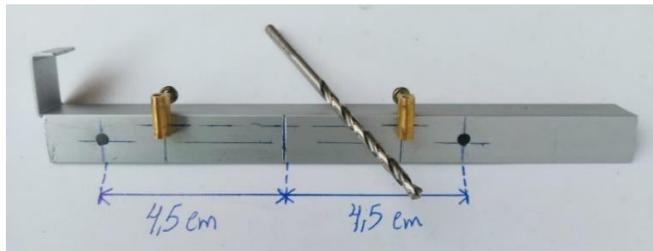
- E por último, marcamos dois outros furos no trilho inferior, que ficará fixo na tábua. As medidas são mostradas nas Fotos 44 e 45 da próxima página, e em seguida, furamos com a broca de 3,2 mm de diâmetro.

Foto 44 – Marcações dos furos



Fonte: Autor (2020)

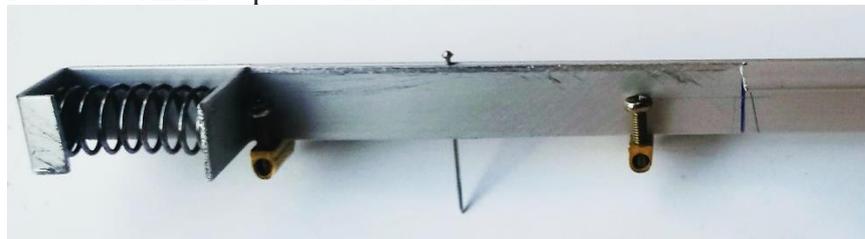
Foto 45 – Furos com broca de 3,2 mm



Fonte: Autor (2020)

Os dois trilhos de alumínio, quando juntos, consistirão em fazer o alfinete girar realizando a medida da dilatação, ou contração, do tubo (Foto 46). Através da indicação do ângulo do ponteiro, que será fixado ao alfinete, obtemos o valor de quanto o tubo variou de comprimento.

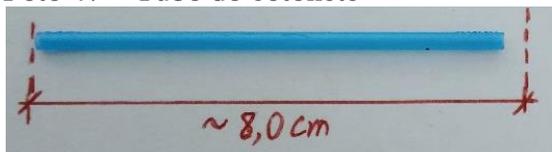
Foto 46 – Alfinete posto entre os trilhos



Fonte: Autor (2020)

O ponteiro do medidor é feito com o tubo de cotonete e o alfinete. Cortamos a ponta do cotonete com ajuda de uma pequena tesoura de aço. Para isso, verificaremos as duas Fotos 47 e 48 abaixo.

Foto 47 – Tubo do cotonete



Fonte: Autor (2020)

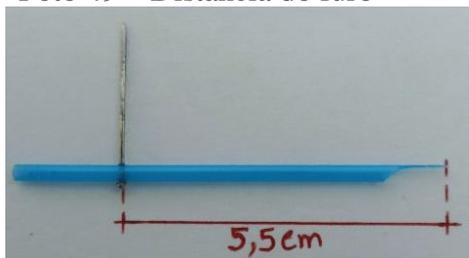
Foto 48 – Corte do tubo



Fonte: Autor (2020)

Em seguida, perfuramos com o alfinete no tubo de cotonete de forma que fique fixo no tubo. Vejamos na Foto 49 a seguir que o alfinete deve ficar na perpendicular ao tubo.

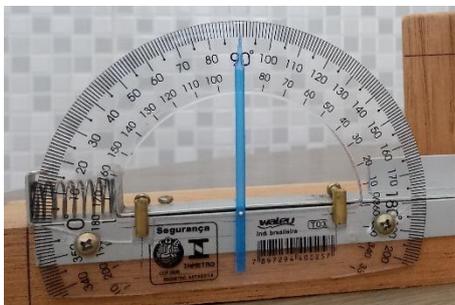
Foto 49 – Distância do furo



Fonte: Autor (2020)

O transferidor de plástico deve ser trabalhado de maneira que seja parafusado junto com o trilho inferior na base de madeira. Para isso podemos furá-lo com a tesoura de aço, com ponta fina, na distância dos dois parafusos (9,0 cm), serramos o transferidor com uma serra de aço de até que tenha a forma mostrada nas Foto 50 abaixo.

Foto 50 – Transferidor fixado



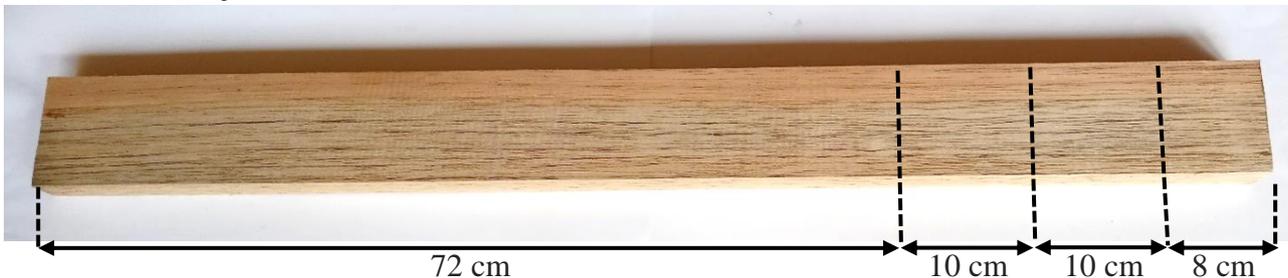
Fonte: Autor (2020)

➤ 2ª Etapa: construção da “base de fixação” do tubo de metal

Os trabalhos serão feitos na tábua de madeira.

Serramos na secção reta transversal da tábua de 1,0 m de comprimento em quatro pedaços: 72,0 cm; 10,0 cm; 10,0 cm e 8,0 cm.

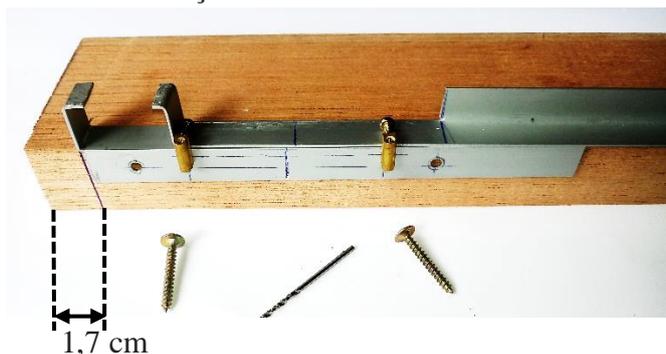
Foto 51 – Marcações na tábua



Fonte: Autor (2020)

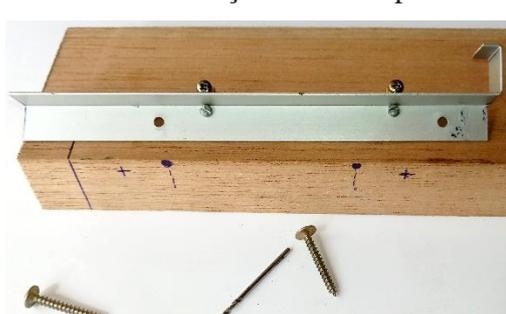
Com a peça de 72,0 cm fixaremos o medidor. Para isto, deixamos um espaço de 1,7 cm da extremidade da tábua até o início do medidor. E marcamos para furar com a broca de 1,6 mm.

Foto 52 – Posição do trilho na base



Fonte: Autor (2020)

Foto 53 – Marcações na base p/ trilho



Fonte: Autor (2020)

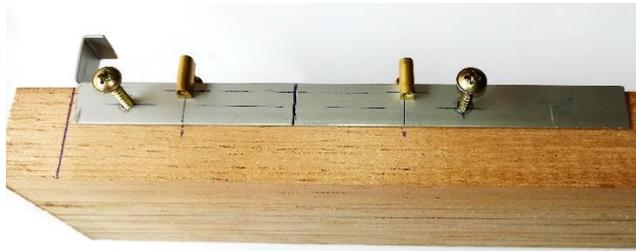
Foi necessário fazermos uma pequena escavação na madeira para que as cabeças de parafuso (que fixam os conectores na peça de alumínio) não atrapalhassem na fixação do trilho na tábua. Em seguida, parafusamos o trilho na base de madeira com uma chave apropriada (Fotos 54 e 55).

Foto 54 – Escavações na base



Fonte: Autor (2020)

Foto 55 – Parafusando o trilho inferior



Fonte: Autor (2020)

Fixado o trilho inferior, vamos fixar agora dois cursores que limitarão o movimento do trilho superior apenas numa direção.

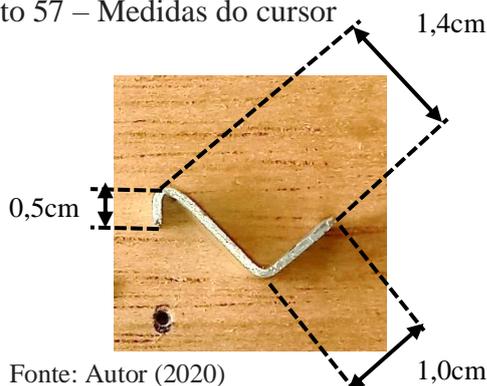
Devemos serrar uma peça de alumínio com 3,0 cm de comprimento, dobrar com a ajuda do alicate, e furar com a broca de 3,2 mm (Foto 56). As medidas são mostradas na Foto 57.

Foto 56 – Cursor de alumínio



Fonte: Autor (2020)

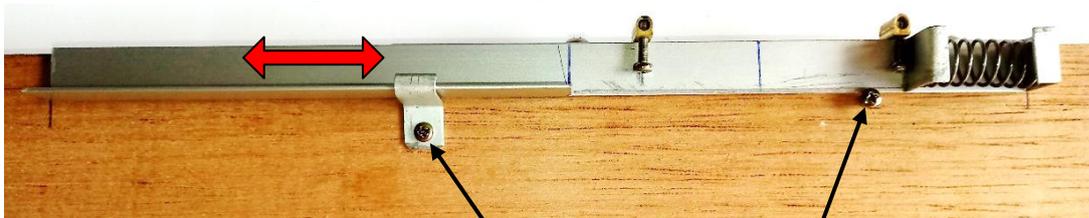
Foto 57 – Medidas do cursor



Fonte: Autor (2020)

Em seguida, furamos com a broca de 1,6 mm na tábua e colocamos os dois parafusos de 2,5 mm de diâmetro para fixar a peça anterior de acordo com as fotos a seguir. Lembrando que a cantoneira de alumínio que fica na parte superior deve se deslocar livremente.

Foto 58 – Cursores: chapa de alumínio e parafuso



Fonte: Autor (2020)

Parafusos de 1,2 cm de comprimento e 2,5 mm de diâmetro

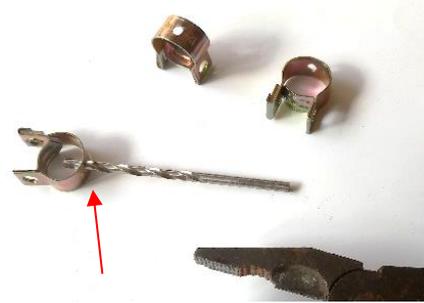
As dobradiças devem ser furadas na parte inferior com a broca de 3,2 mm. Antes disso devemos apontar o lugar do furo com o prego e o martelo. Vejamos as Fotos 59 e 60 a seguir.

Foto 59 – Apontador e martelo para furo



Fonte: Autor (2020)

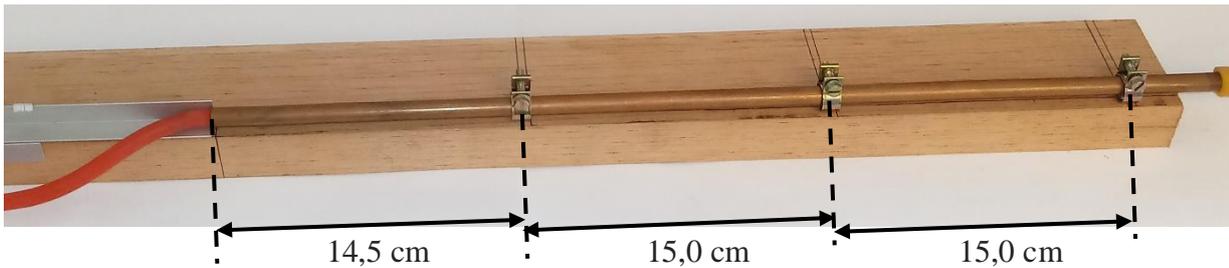
Foto 60 – Furo com broca de 3,2 mm



Fonte: Autor (2020)

As posições das três dobradiças na tábua devem ser: a primeira a uma distância de 14,5 cm da extremidade do medidor; a segunda a uma distância de 15,0 cm da primeira, e a terceira a uma distância de 15,0 cm da segunda. Todas elas devem ficar bem fixadas na tábua através dos parafusos. E ainda, devemos demarcar a linha certa para que a extremidade do tubo fique bem acoplado na extremidade do medidor, pois da ponta do tubo sairá a mangueira de látex de menor diâmetro. Vejamos como devem ficar através da Foto 61 abaixo.

Foto 61 – Marcações das abraçadeiras na base



Fonte: Autor (2020)

Para fixá-las devemos medir, marcar e furar com broca de 1,6 mm no lugar dos parafusos. Fazemos uma linha com régua e caneta/lápis na tábua para demarcar a posição do tubo. A linha deve ter uma distância de 1,0 cm da borda da tábua, sempre em paralelo à borda da tábua (Fotos 62, 63, 64, e 65).

Foto 62 – Distância do alinhamento lateral na base



Fonte: Autor (2020)

Foto 63 – Parafusos nos furos



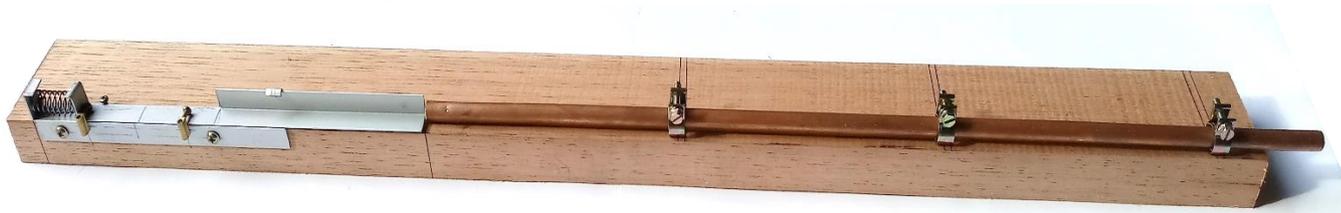
Fonte: Autor (2020)

Foto 64 – Fixando as abraçadeiras na base



Fonte: Autor (2020)

Foto 65 – Medidor e abraçadeiras fixados na base



Fonte: Autor (2020)

***Preparo dos tubos**

As duas mangueiras de látex (diâmetro ~9mm) devem ser encaixadas (cerca de 5 mm) no interior das extremidades dos tubos de alumínio, e cobre, com o auxílio de cola instantânea.

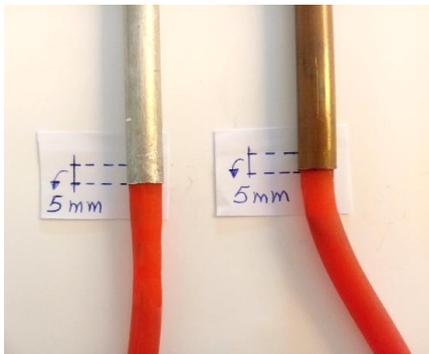
Foto 66 – Tubos e mangueiras de látex



Fonte: Autor (2020)

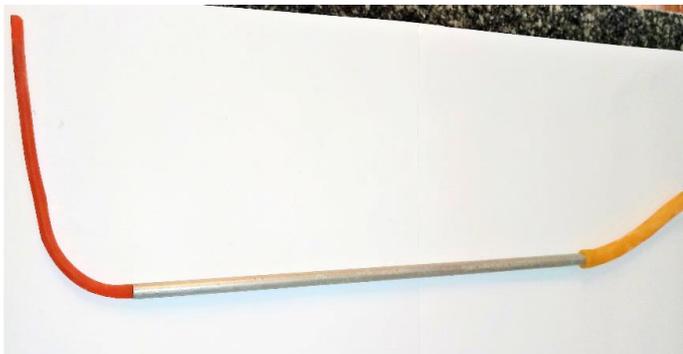
Estas mangueiras de látex (diâmetro ~9 mm) devem estar coladas nos dois tubos respectivos (Foto 67). Já a outra mangueira de látex de maior diâmetro (~14 mm) não deve ser colada, esta será colocada e retirada na outra extremidade (Foto 68).

Foto 67 – Fixação com cola



Fonte: Autor (2020)

Foto 68 – Encaixe da mangueira de látex mais larga



Fonte: Autor (2020)

As outras três peças de madeira serão trabalhadas para servirem de base de sustentação para os tubos/mangueiras de látex (Foto 69). Usamos a cola instantânea para fixar as duas tábuas de 10 cm e de 8 cm, a mangueira de maior diâmetro será colada em seguida (Foto 70), e, por último, colamos um pequeno tubo de alumínio na parte superior da tábua de 10 cm, isto para sustentar a outra mangueira de látex (Foto 71).

Foto 69 – Peças de 10, 10 e 8 cm



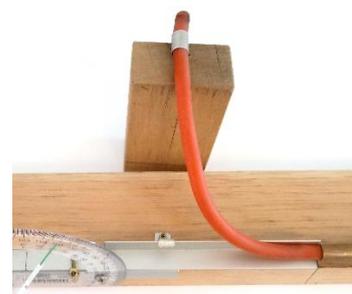
Fonte: Autor (2020)

Foto 70 – 1ª Base



Fonte: Autor (2020)

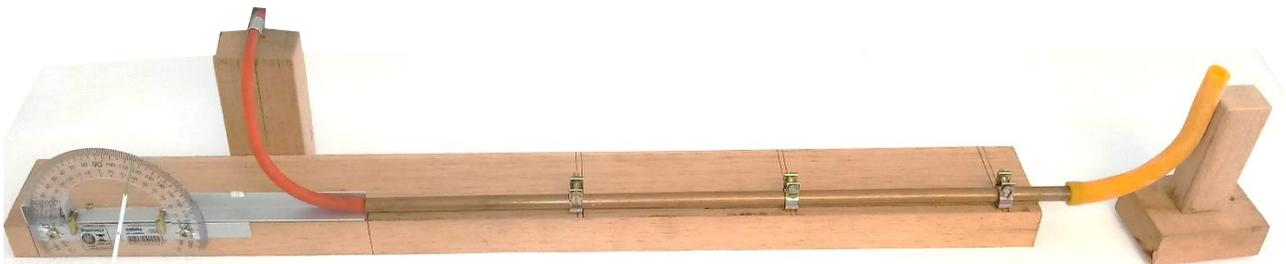
Foto 71 – 2ª Base



Fonte: Autor (2020)

Ficando assim:

Foto 72 – Fase final do Dilatômetro de Trilhos



Fonte: Autor (2020)

Por último encaixamos o funil na mangueira de látex (Foto 73).

*Também podemos fixar a mangueira de látex na base de madeira e o funil com uma abraçadeira de plástico, fica bem melhor!

Foto 73 – 1ª base com funil e abraçadeira de plástico

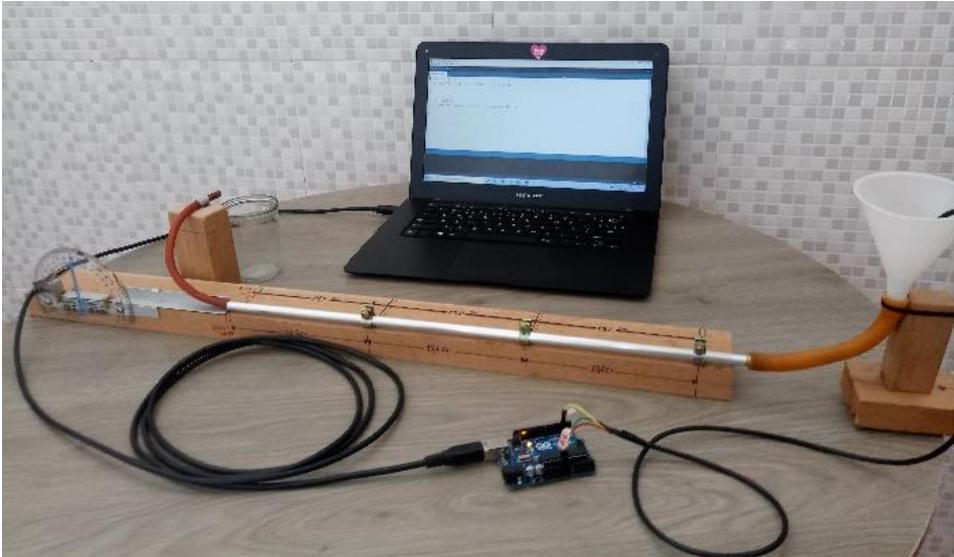


Abraçadeira de plástico

Fonte: Autor (2020)

Passamos o sensor pelo funil e pela mangueira de látex, deixando-o na parte mediana interna do tubo de metal. Em seguida, encaixamos a mangueira na extremidade do tubo (Foto 74).

Foto 74 – Dilatômetro de Trilhos pronto para a prática



Fonte: Autor (2020)

Link para pasta do Google Drive com vídeos da montagem:

<https://drive.google.com/drive/folders/1cS7QUPTj80HUNTQm2fRPoSMuD2gNsvav?usp=sharing>

Dilatômetro de Alavanca

Nesta parte do manual trabalharemos na construção de outro tipo de dilatômetro linear para medidas de dilatação, ou contração, de tubos metálicos. Trata-se do Dilatômetro de Alavanca, este tipo de dilatômetro é de fácil construção comparado ao Dilatômetro de Trilhos, pois conseguimos medir a pequena variação do comprimento do tubo de metal de uma forma ligeiramente simples. Muitos dilatômetros deste tipo já foram feitos a séculos atrás. Alguns tinham um conjunto de duas, ou mais, alavancas para uma maior precisão dos comprimentos dilatados, ou mesmo contraídos.

Com a criação de relógios mais compactos que continham muitas engrenagens de metal bem refinado, foi possível desenvolver instrumentos de muita precisão nas medidas de pequeno comprimento, como um exemplo bem simples, temos o micrômetro capaz de realizar medidas em precisão de 10^{-6} do metro, ou melhor, 0,001 do milímetro. Chamamos de “relógio comparador” ao instrumento capaz de medir os pequenos comprimentos causados pela dilatação de um corpo sólido, este utiliza o mesmo princípio de funcionamento dos primeiros relógios com ponteiros.

Foto 75 - Imagem de um relógio comparador analógico



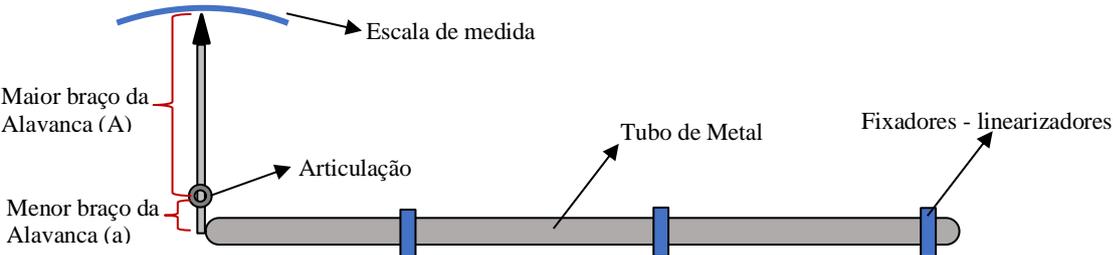
Fonte: <https://www.americanas.com.br/produto/51283166/relogio-comparador-0-01-10-mm> (2020)

Os primeiros relógios comparadores, como já exposto, são constituídos de um conjunto de engrenagens. Atualmente existem relógios comparadores digitais. Tais instrumentos são usados na usinagem de peças de metal trabalhadas com grande precisão no seu acabamento.

Seguindo nosso objetivo, propomos a construção de um dilatômetro de alavanca simples com materiais acessíveis, capaz de demonstrar e realizar medidas de dilatação para tubos de metal.

Vejamos o esquema ilustrativo abaixo (Fig. 4) que mostra basicamente os elementos de um dilatômetro de alavanca, e logo após o seu funcionamento baseando-se numa fundamentação geométrica e matemática:

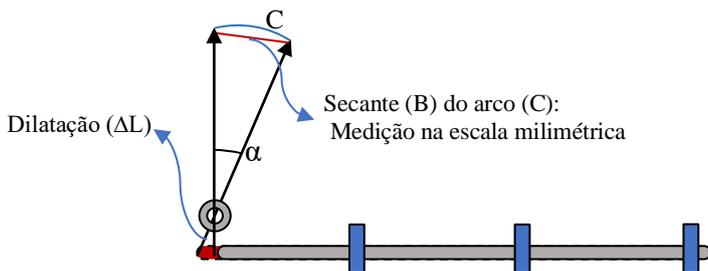
Figura 4 – Esquema ilustrativo do Dilatômetro de Alavanca



Fonte: Autor (2020)

Pelo esquema anterior, fixamos a amostra de metal em um dos fixadores e aquecendo, ou resfriando, a amostra de metal, a extremidade do metal tenciona o menor braço da alavanca pelo efeito da dilatação, ou contração. Esta, gira por meio da articulação que deve estar fixa, girando com um maior deslocamento o mostrador da alavanca maior. Desprezamos a pequena dilatação da ponta do menor braço da alavanca, e, consideramos que a experiência se realize para pequenos ângulos ($\alpha < 20^\circ$) ficando o comprimento da secante (B) aproximadamente igual ao comprimento do arco, pois a dilatação/contração do metal (ΔL) é bem pequena. Vejamos a Fig.5.

Figura 5 – Relação geométrica para medida de ΔL



Fonte: Autor (2020)

Com estas aproximações podemos concluir geometricamente que:

Os ângulos de deslocamento do maior braço e do menor braço da alavanca são iguais,

$$B = \alpha \cdot A \quad \text{e} \quad \Delta L = \alpha \cdot a$$

Segue a igualdade: $\frac{B}{A} = \frac{\Delta L}{a}$

Ficando o valor da dilatação/contração do metal (ΔL) em função da secante (B) indicada na escala de medida graduada em milímetros.

$$\Delta L = \frac{a}{A} \cdot B$$

A razão $\frac{a}{A}$ é o fator multiplicativo de deslocamento da alavanca, sendo $a < A$, temos $B > \Delta L$.

Seguiremos agora com a relação dos materiais e etapas para construção do nosso dilatômetro de alavanca.

↳ Materiais

1º) 01 pequena mola de tração em aço, tamanho de ~ 2,0 cm

Foto 76 – Mola de tração



Fonte: Autor (2020)

2º) 01 canudo (suporte) para balão de ~ 30 cm, e dois tubos de pirulitos, os tubos de pirulito devem encaixar internamente no tubo para balão de modo a ficarem fixos.

Foto 77 – Tubo para balão



Fonte: Autor (2020)

Foto 78 – 2 tubos de pirulito



Fonte: Autor (2020)

3º) 01 eixo de aço (raio de aro de bicicleta) de comprimento ~ 9 cm
01 pedaço de arame galvanizado de comprimento ~ 5 cm

Foto 79 – Raio do aro de bicicleta



Fonte: Autor (2020)

Foto 80 – Arame galvanizado



Fonte: Autor (2020)

4º) Uma régua milimétrica de plástico

Foto 81 – Régua de plástico



Fonte: Autor (2020)

5º) 01 rolamento de HD de computador (do tipo, com parafuso como eixo)

Foto 82 – Rolamentos de HD



Fonte: Autor (2020)

6º) 02 conectores de fios elétricos, encontramos em interruptores e tomadas de embutir

Foto 83 – Conectores de fios elétricos



Fonte: Autor (2020)

7º) 01 peça de madeira (de preferência cedro) nas dimensões: 72 cm de comprimento, 4 cm de largura e 3cm de altura

Foto 84 – Tábua para base do dilatômetro



Fonte: Autor (2020)

8º) 02 tubos de látex (mangueira de soro) com diâmetro de 9,0 mm e comprimento de 20,0 cm (Foto 16);

01 tubo de látex com 14,0 mm de diâmetro e 15,0 cm de comprimento (Foto 17).

9º) 50 cm de tubo de cobre de diâmetro de 9,5 cm (cano de cobre utilizado em condicionadores de ar tipo Split), e 50 cm do tubo de alumínio de diâmetro de 9,5cm (pode ser de cano de antiga antena receptora de TV analógica). *Podemos adquirir numa distribuidora de alumínio também (Foto 11).

10º) 01 funil e 01 abraçadeira de plástico (Fotos 18 e 19)

11º) 04 abraçadeiras modelo Simplex para mangueira, com diâmetro variando de 12-14 mm (Foto 22)

12º) 03 parafusos para madeira nas dimensões: 3,0 mm de diâmetro e ~3 cm de comprimento (Foto 23)

13º) Placa arduino com cabo, sensor de temperatura modelo DS18B20, e resistência de 4,7 K Ω (Fotos 24, 25 e 26)

14º) Ebulidor de água (Foto 27)

15º) Computador com multimídia (teclado, mouse e monitor) (Foto 28)

↳ **Construção e montagem**

Da mesma forma para a construção do dilatômetro anterior, para construirmos o dilatômetro de alavanca devemos ter experiência no manuseio dos seguintes instrumentos: alicate de aço, furadeira elétrica (usaremos broca de aço de 3,2 mm de diâmetro, e broca de aço de 1,6 mm de diâmetro), arco com serra de aço, régua milimétrica ou paquímetro, régua, caneta ou lápis, martelo

e um prego para ripa, lixa para ferro nº 80, tesoura de aço, chave estrela, chave de fenda e cola instantânea.

Subdividiremos em duas partes: “construção da base de fixação”, e “construção do medidor” da dilatação. Da mesma forma que na montagem anterior, disponibilizaremos um link eletrônico para uma Pasta (Vídeos – Dilatômetro de Alavanca) para a visualização, via internet, da montagem passo-a-passo.

➤ 1ª Etapa: Construção do Medidor

- Usamos o alicate e a chave estrela para fixar primeiramente o conector de fio elétrico no eixo central do rolamento, a vantagem é que suas roscas são iguais. Depois fixamos o eixo de aço (9 cm) no furo central do conector de fio elétrico do modo mostrado na foto abaixo. A menor ponta do eixo de aço é o menor braço da alavanca do medidor, lembrando que devemos somar metade da largura da lateral do conector (2,5 mm). O tamanho desse menor braço fica a critério de quem o fará, por exemplo, nós adotamos: menor braço da alavanca $a=6\text{ mm}$ (2,5mm a metade do conector + 3,5 mm do eixo de aço). Vejamos as Fotos 85 e 86.

Foto 85 – Rolamento e conector



Fonte: Autor (2020)

Foto 86 – Menor braço da Alavanca



Fonte: Autor (2020)

- Para a construção da maior alavanca do medidor utilizaremos os canudos de pirulito e canudo para suporte de balão de festas. Os canudos de pirulito devem encaixar no interior do canudo para balão sem haja folga. Devemos colar um destes tubos totalmente com a cola instantânea no interior do tubo para balão. Já no interior do tubo de pirulito deve ficar o eixo de aço que já está fixado no rolamento. Vejamos as fotos 87e 88 abaixo.

Foto 87 – Tubo de pirulito fixo no tubo para balão



Fonte: Autor (2020)

Foto 88 – Conjunto colocado no eixo de aço



Fonte: Autor (2020)

- O segundo tubo de pirulito será colado internamente na outra extremidade do suporte para balão. Em seguida cortamos com uma tesoura numa secção diagonal o tubo de pirulito de maneira que fique com uma ponta pontiaguda, ou seja, a ponta do ponteiro (Fotos 89, 90 e 91).

Foto 89 – Corte para ponta



Fonte: Autor (2020)

Foto 90 – Ponta do medidor

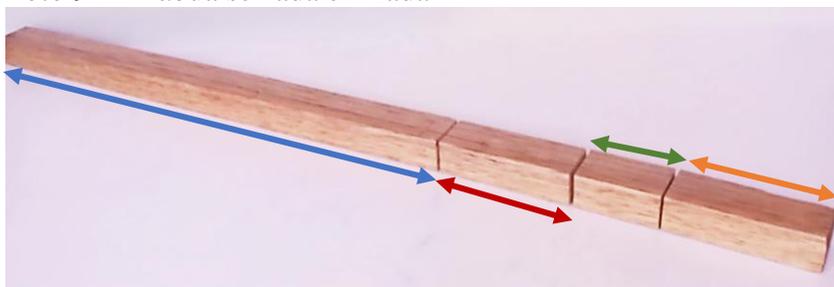


Fonte: Autor (2020)

* OBS: O comprimento da maior alavanca do medidor (A) fica a critério de quem a construirá. Uma faixa recomendável seria entre 25 até 35 cm.

- Serrar e lixar a peça de madeira em 04 peças nas medidas da Foto 91 abaixo

Foto 91 – Tábua serrada e fixada



Fonte: Autor (2020)

~ 46 cm

~ 10 cm

~ 6 cm

~ 10 cm

- Para fixar a abraçadeira, onde fica o rolamento, na base de madeira, de 46 cm, devemos furar primeiro na parte inferior da circunferência da abraçadeira. Para isto abrimos a abraçadeira apontamos com a ajuda do prego e do martelo, e em seguida, furamos com a broca de 3,2 mm. Na verdade, temos que fazer este procedimento com as quatro (4) abraçadeiras. Verificar as Fotos 59 e 60.
- Em seguida, furamos a extremidade na base de madeira com a broca mais fina de modo que o parafuso fixe a abraçadeira onde ficará o rolamento de HD. A abraçadeira deve ficar da forma como é mostrada nas Fotos 92, 93 e 94 abaixo.

Foto 92 – Vista superior



Fonte: Autor (2020)

Foto 93 – Vista lateral



Fonte: Autor (2020)

Foto 94 – Vista em perspectiva



Fonte: Autor (2020)

- Agora o rolamento de HD, em conjunto com o conector e o eixo de aço, já pode ser colocado nesta abraçadeira. Depois de colocado basta apertar a abraçadeira com uma chave apropriada. Visualizando as Fotos 95 e 96, a seguir, fica fácil compreender.

Foto 95 – Vista superior do conjunto



Fonte: Autor (2020)

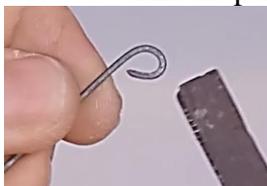
Foto 96 – Vista em perspectiva do conjunto



Fonte: Autor (2020)

- O arame galvanizado (5 cm) será a base da mola. Deve ser dobrado com a ajuda do alicate de maneira que tenhamos dois aros nas suas extremidades, um aro para abarcar o parafuso da abraçadeira, e outro aro menor para fixar uma extremidade da mola de tração. Vejamos como fica o arame ao ser dobrado nas Foto 97, 98 e 99 abaixo.

Foto 97 – Aro do parafuso



Fonte: Autor (2020)

Foto 98 – Parafuso encaixado



Fonte: Autor (2020)

Foto 99 – Parafuso-base-mola



Fonte: Autor (2020)

- Este arame será fixado na abraçadeira do rolamento através do parafuso que passa pelo aro feito no arame. Em seguida, colocamos a outra extremidade da mola no eixo de aço. Para que a mola não deslize no eixo de aço colocamos o outro conector de fio elétrico. Vejamos as Fotos 100, 101 e 102. Elas mostram a montagem.

Foto 100 – Arame fixo na abraçadeira



Fonte: Autor (2020)

Foto 101 – Mola no eixo



Fonte: Autor (2020)

Foto 102 – Fixar o conector

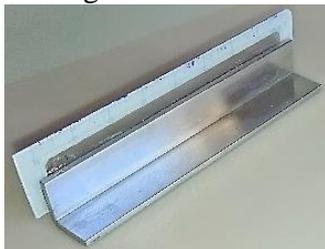


Fonte: Autor (2020)

*OBS: O objetivo é a mola restaurar a posição inicial da alavanca.

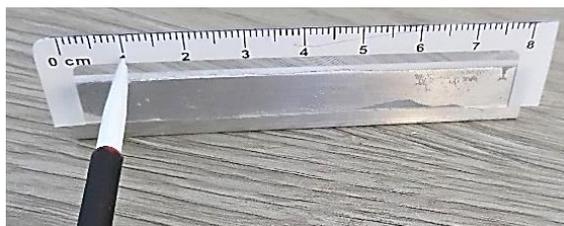
- Para terminar a 1ª parte do medidor colamos com cola instantânea um pedaço (devidamente serrado e lixado) da régua milimétrica de plástico na peça de cantoneira de alumínio. Devemos cuidar para que a altura do ponteiro da alavanca esteja igual à altura da escala da régua. Observando as Fotos 103 e 104, a seguir, fica mais compreensível.

Foto 103 – Régua fixa na cantoneira



Fonte: Autor (2020)

Foto 104 – Marca milimétrica na altura do ponteiro



Fonte: Autor (2020)

➤ 2ª Etapa: Construção das Bases de Fixação

- Com uma das peças de madeira de 10 cm colamos com cola instantânea o cano de alumínio devidamente lixado (comprimento igual a 2cm e diâmetro aproximado de 1,0 cm) na face superior da peça da madeira. De acordo com as Fotos 105 e 106 abaixo.

Foto 105 - Vista lateral



Fonte: Autor (2020)

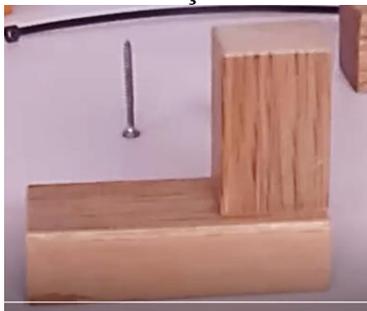
Foto 106 – Vista superior



Fonte: Autor (2020)

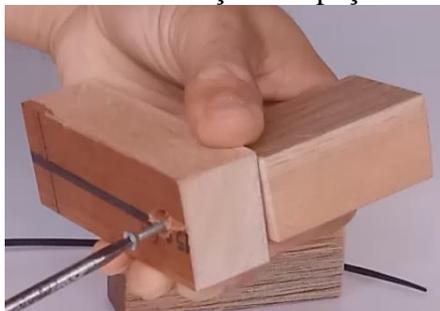
- Com as outras duas peças de madeira, de 10 cm, e outra de 6 cm, devemos fixá-las de acordo com as Fotos 107 e 108 ilustradas abaixo. Podemos fazer isto com a cola instantânea, ou com um parafuso.

Foto 107 – Peças de 10 e 8 cm



Fonte: Autor (2020)

Foto 108 – Fixação das peças



Fonte: Autor (2020)

- A mangueira de látex é colocada no funil, com a abraçadeira de plástico fixando o funil na base anterior já feita de madeira (Fotos 109 e 110 a seguir).

Foto 109 – Vista lateral



Fonte: Autor (2020)

Foto 110 – Vista superior

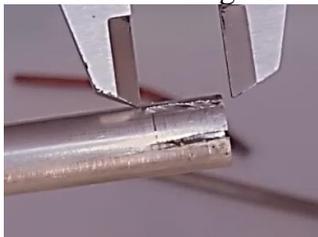


Fonte: Autor (2020)

- Uma das extremidades do cada tubo deve ser serrada (Foto 111) e devidamente lixada (Foto 112). Depois dobra-se com alicate a haste com 6 mm de comprimento na extremidade do tubo (Fotos 113 e 114). A mangueira de látex deve ser colada internamente no tubo (cerca de 0,5 cm) com a cola instantânea (Fotos 114 e 115).

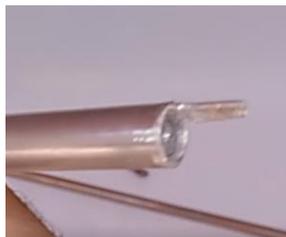
*OBS: Esta pequena alavanca feita na extremidade de cada tubo (comprimento de 6 mm, e espessura de 3 mm) fará contato com extremidade do menor braço da alavanca (a) do medidor.

Foto 111 – Serragem



Fonte: Autor (2020)

Foto 112 – Lixamento



Fonte: Autor (2020)

Foto 113 – Dobrar



Fonte: Autor (2020)

Foto 114 – Haste de 6 mm



Fonte: Autor (2020)

Foto 115 – Mangueiras coladas



Fonte: Autor (2020)

Foto 116 – Haste em contato com o eixo de aço



Fonte: Autor (2020)

- Terminando com os tubos, devemos marcar com caneta, ou outro marcador, três distâncias de 15,0 cm ao longo de cada tubo iniciando da ponta onde fica a pequena alavanca. Nestas marcações ficarão as posições das três abraçadeiras na base de madeira (Foto 117).

Foto 117 – Três marcações consecutivas de 15,0 cm no tubo



Fonte: Autor (2020)

- A maior peça de madeira, de 46 cm, será a base principal, ela fixará o tubo de metal (que sofrerá a dilatação/contração térmica), além de fixar o rolamento de HD. Devemos ter o cuidado em alinhar bem o tubo de modo que a pequena haste da ponta do tubo faça contato com a ponta do menor braço da alavanca (a) do medidor.

Primeiro desenhamos com régua e marcador (caneta) a posição exata onde o tubo ficará na base. Depois fazemos contato com a alavanca do rolamento de modo ela faça um ângulo de 90° com a base de madeira, daí então marcamos as posições dos furos onde ficarão as abraçadeiras na base de madeira (Fotos 118, 119 e 120).

Foto 118 – Contato da haste (90°)



Fonte: Autor (2020)

Foto 119 – Marcação da posição do tubo na base



Fonte: Autor (2020)

Foto 120 – Marcação das distâncias dos furos para abraçadeiras



Fonte: Autor (2020)

- Depois de furar a base, parafusamos as três abraçadeiras nas posições marcadas.

Foto 121 – Fixando as abraçadeiras na base



Fonte: Autor (2020)

- Colocamos um dos tubos e apertamos bem as três abraçadeiras de modo que o tubo fique bem alinhado. Em seguida, folgamos um pouco as abraçadeiras e deslizamos o tubo para verificar a mobilidade e a linearidade da justaposição das abraçadeiras. Depois podemos retirar o tubo (Foto 122).

Foto 122 – Apertar os parafusos para alinhamento



Fonte: Autor (2020)

Pronto, nosso Dilatômetro de Alavanca está pronto!

Por último conectar a mangueira do funil no tubo e ajustar o ponteiro com a escala da régua!

Foto 123 – Dilatômetro de Alavanca com sensor



Fonte: Autor (2020)

Link para Pasta com vídeos da montagem:

<https://drive.google.com/drive/folders/1eGzxz97XNHMhU78qcbg1VY5PK81BBZO4?usp=sharing>

O Arduino e o sensor de temperatura BS18B20 como mediador

O que é o arduino

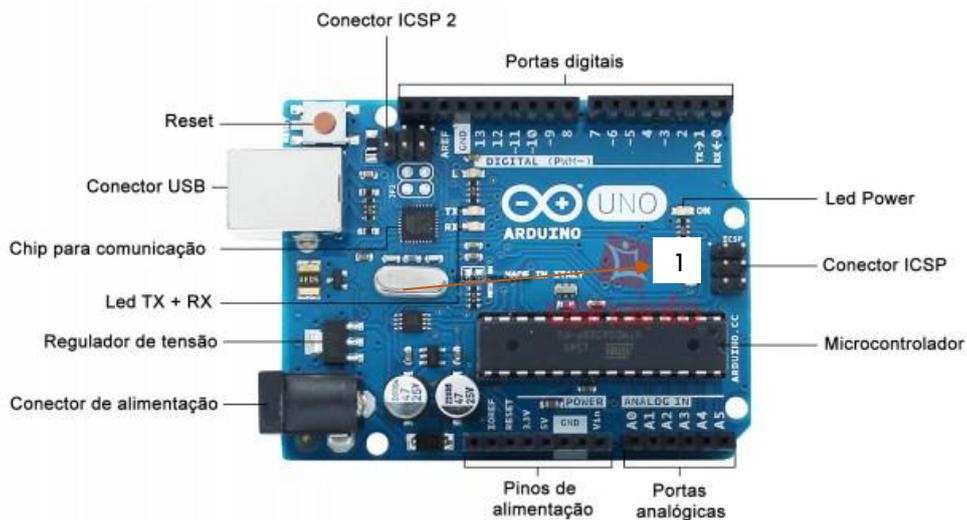


O Arduino é uma plataforma eletrônica cujo projeto teve início na cidade de Ivrea, Itália, em 2005, com o intuito de interagir em projetos escolares de forma a ter um orçamento menor que outros sistemas de prototipagem disponíveis naquela época. Esta plataforma eletrônica é capaz de gerenciar os dados primários (pulsos elétricos de entrada) vindos de um dispositivo elétrico primário como um sensor ou um botão e os processa através de uma pré-programação gerando pulsos/correntes elétricos(as) de saída que acionarão outros dispositivos. Ou melhor, a plataforma detém estímulos primários e através de ações pré-programadas os convertem em respostas secundárias.

Consiste basicamente na sua parte hardware e software:

- Sua parte hardware (Arduino UNO) é constituída por uma placa eletrônica com um microcontrolador do tipo Atmel AVR de 8 bits, com componentes complementares (memória flash, pinos de entrada e saída, LEDs de sinalização de atividade, ...) para realizar a programação e incorporação em outros circuitos. Além de ser um microcontrolador também pode ser pré-programado pela parte software (instalado no computador), o que simplifica o carregamento de programas para o chip de memória flash embutido na sua placa, em comparação com outros aparelhos que geralmente demandam um chip programador externo, ou seja, estes não são passíveis de programação. A gravura abaixo mostra o Arduino UNO.

Foto 124 – Placa Arduino UNO

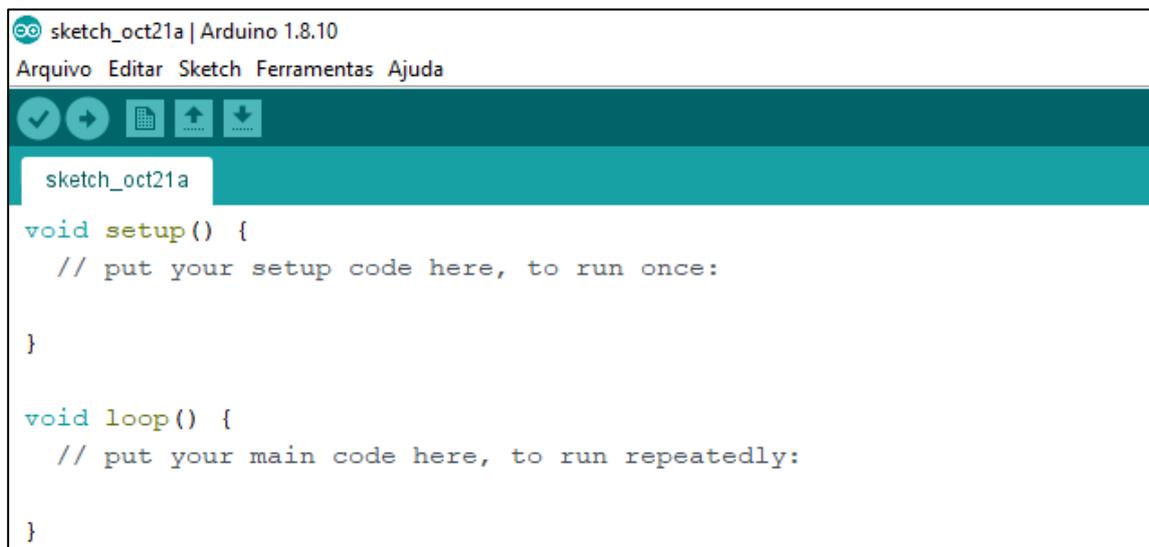


Fonte: <http://www.professorakeila.com.br/2017/04/04-principais-componentes-do-arduino-uno.html> (2020)

- A parte software (Arduino IDE) deve ser instalada, gratuitamente pela web, num computador comum. Funciona quando acoplado por cabo USB a placa eletrônica do Arduino UNO. Tal software, é uma aplicação da multiplataforma escrita em Java derivada dos projetos Processing e Wiring. É arquitetado para introduzir de forma simples a prática da programação para artistas, profissionais de áreas diversas e para pessoas no geral, que não são familiarizadas em programação computacional. Inclui um editor de código, “linguagem de programação em C”, sendo capaz de compilar e carregar programas na placa eletrônica do Arduino UNO.

Veamos a ilustração abaixo (Print 1) que mostra na tela de um computador, a área de trabalho do Arduino IDE.

Print 1 – Área de trabalho do Arduino IDE



Fonte: Autor (2020)

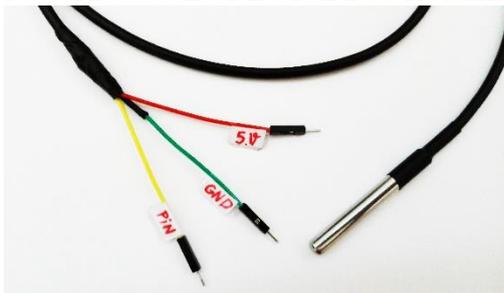
Temos que a área de trabalho está em branco do Arduino IDE já instalado, pronto para uma programação, também chamada de “sketch”. Existem duas partes da programação: `void setup` e `void loop`.

↳ Trabalho e montagem do sensor de Temperatura

Montagem de apenas 1 Sensor DS18B20

O nosso sensor de temperatura é o modelo DS18B20, ele é ideal para líquidos e gases, possui três fios, um deles é o fio por onde passa uma pequena corrente elétrica do sensor para a placa microcontroladora conectado na porta digital PIN 3 (ou outro pino, depende da programação), ou seja, neste fio ocorre o envio de dados para o Arduino UNO (que indica a temperatura da água). Os outros dois fios são o de 5,0 volts de tensão (5V), e o último de aterramento (GND).

Foto 125 – Sensor DS18B20 e fios link



Fonte: Autor (2020)

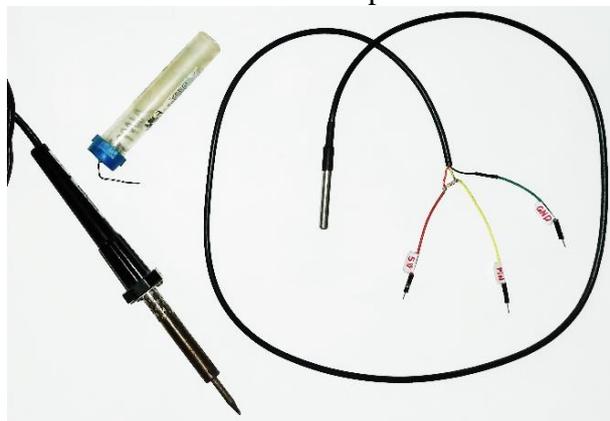
Uma resistência de valor igual à $4,7\text{ k}\Omega$ deve ser inserida nos fios do pino (pin) e no fio de 5 V. Fazemos tal procedimento soldando estes fios na resistência (Fotos 126 e 127).

Foto 126 – Solda da resistência de $4,7\text{ k}\Omega$



Fonte: Autor (2020) Fonte:

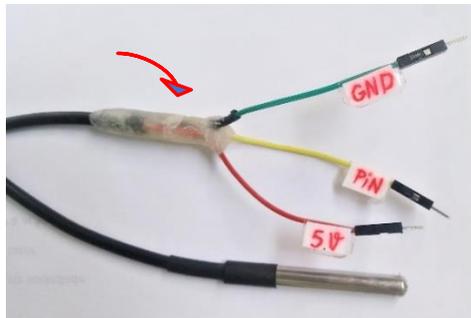
Foto 127 – Instrumentos para solda



Fonte: Autor (2020)

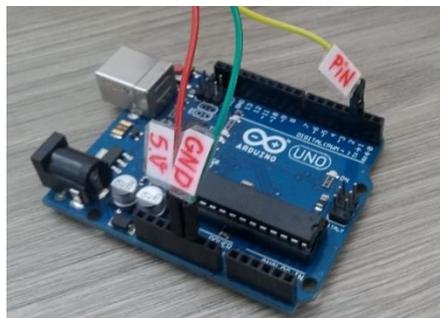
Passamos fita isolante (ou cola quente) para proteger as soldas e o resistor. Fazemos uma identificação nos três fios link escrevendo com caneta num pequeno papel envolvido por fita durex em cada fio (Foto 128). Para utilizar o sensor conectamos o fio PIN na porta digital 3, o fio GND na porta GND, e o fio de 5V na porta 5V no Arduino UNO (Foto 129).

Foto 128 – Proteção e identificação dos fios



Fonte: Autor (2020)

Foto 129 – Conexão na placa Arduino UNO



Fonte: Autor (2020)

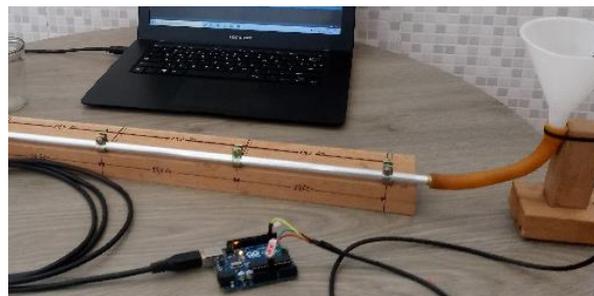
O sensor de temperatura deve passar pelo funil (Foto 130) passando no interior da mangueira de látex e ficar no interior do tubo de metal, aproximadamente na parte mediana do comprimento do tubo.

Foto 130 – Colocando o sensor de temperatura



Fonte: Autor (2020)

Foto 131 – Sensor instalado



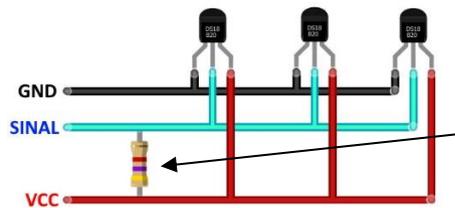
Fonte: Autor (2020)

Montagem de vários Sensores DS18B20

Este tipo de sensor tem uma vantagem com relação a outros, a biblioteca OneWire é capaz de identificar cada sensor DS18B20 individualmente. Isto é possível porque cada sensor DS18B20 possui um código (identificação) único vindo de fábrica. Com isto, podemos ligar muitos destes sensores em “barramento”, ou seja, ligamos em paralelo, numa única entrada digital da Placa Arduino UNO.

Vejam os dois esquemas abaixo do circuito para o barramento de três sensores DS18B20.

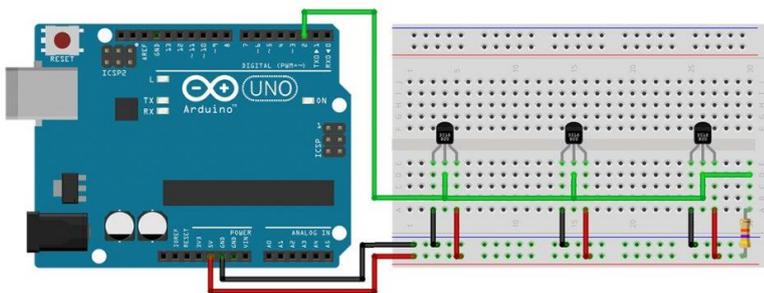
Print 2 – Barramento de três sensores DS18B20



Um resistor de 4,7 KΩ deve ligar o fio do sinal digital com o fio que fornece a tensão DC de 5V

Fonte: <https://www.arduinoocia.com.br/sensor-de-temperatura-ds18b20-com-esp8266-esp-01/> (2020)

Print 3 – Barramento de três sensores conectados na placa Arduino UNO

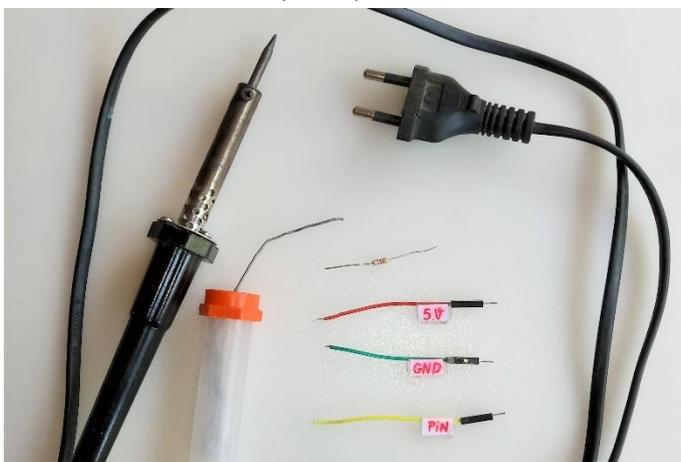


No esquema ao lado, mostra o fio do sinal digital conectado na porta digital 2 da Placa Arduino UNO

Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-temperatura-arduino-ds18b20-comunicacao-onewire/> (2020)

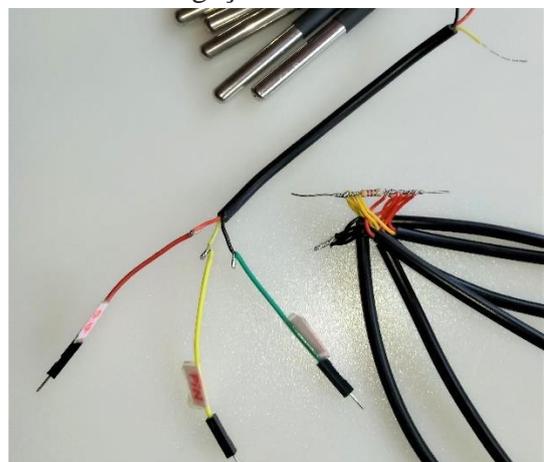
Na prática, realizamos os procedimentos abaixo para ligar 5 sensores DS18B20.

Foto 132 – Resistor 4,7 kΩ, fios link e solda



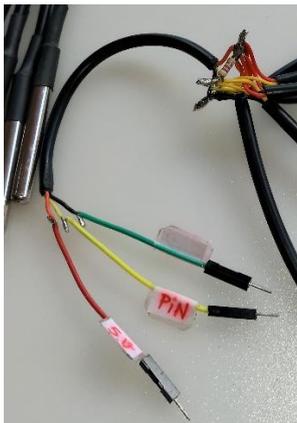
Fonte: Autor (2020)

Foto 133 – Ligação dos fios e resistor



Fonte: Autor (2020)

Foto 134 – Soldagem



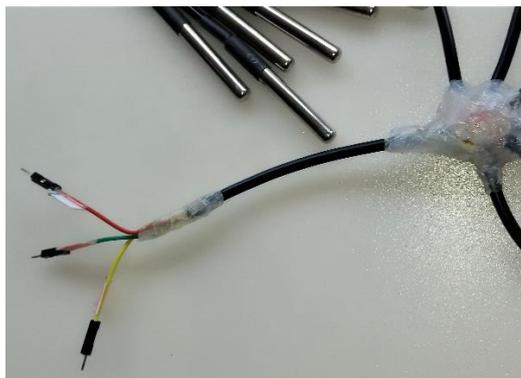
Fonte: Autor (2020)

Foto 135 – Cola quente



Fonte: Autor (2020)

Foto 136 – Isolamento com cola quente



Fonte: Autor (2020)

↳ Como adquirir o software Arduino IDE e programar o sensor de temperatura

O software Arduino IDE pode ser facilmente adquirido através da internet no endereço eletrônico: <https://www.arduino.cc/en/main/software>

No final desta seção disponibilizaremos um link de endereço eletrônico para uma Pasta do Google Drive (Vídeos – Arduino e Sensores de Temperatura) para a visualizar os passos para o uso do Arduino e dos Sensores.

Ao abrir esta página na internet facilmente visualizamos a opção para realizar o download do IDE do Arduino 1.8.10. Em seguida, é só instalarmos seguindo o próximo passo mostrados na tela. Clique através do cursor na opção **Windows installer**.

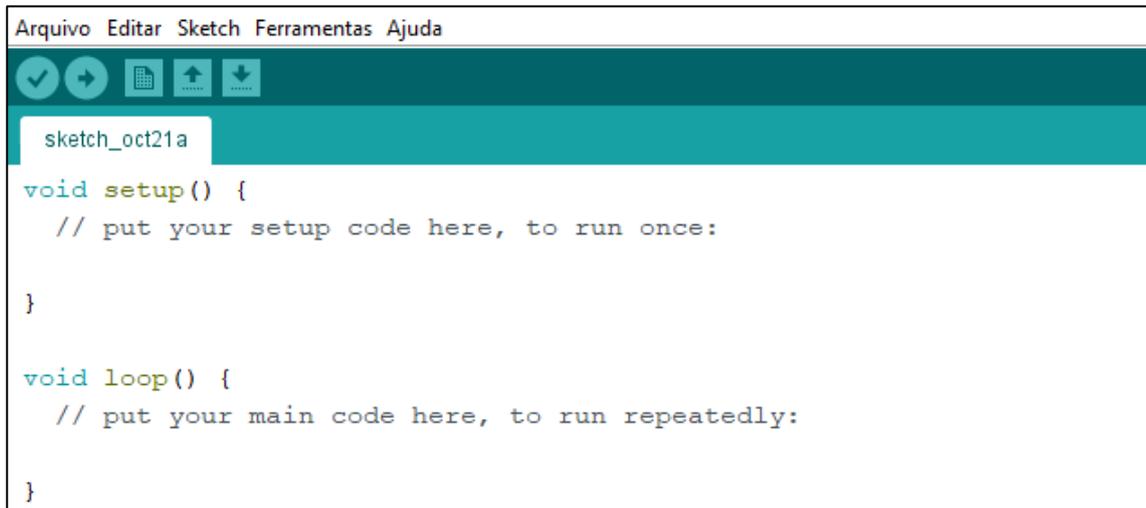
Print 4 – Aquisição do Arduino IDE via web



Fonte: Autor (2020)

Novamente, tem-se a gravura abaixo que é a área de trabalho do Arduino IDE já instalado, pronto para uma programação. Existem duas partes da programação: `void setup` e `void loop`.

Print 1 – Área de trabalho do Arduino IDE



```

Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
sketch_oct21a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}

```

Fonte: Autor (2020)

Realizaremos agora a programação (também chamada sketch ou código) específica para a área de trabalho. Faremos uma única programação, ela servirá em todas as diferentes práticas experimentais com a utilização dos sensores DS18B20 ligados por barramento.

Para o funcionamento dos sensores de temperatura DS18B20, digitamos todos os caracteres mostrados nas páginas a seguir, de forma exata, para a área de trabalho do Arduino IDE. Ou, selecionando todas as linhas seguintes através do editor de texto do computador, copiando, e colando na área de trabalho do sketch do Arduino IDE.

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 3
OneWire 50neWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&50neWire);
DeviceAddress Term1, Term2, Term3, Term4, Term5;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
  Serial.print("Localizando os sensores...");
  Serial.print("Encontrados ");
  Serial.print(sensors.getDeviceCount(), DEC);
  Serial.println(" sensores.");
  if(!sensors.getAddress(Term1,0))
  Serial.println("Incapaz de localizar o sensor 0");
  if(!sensors.getAddress(Term2,1))
  Serial.println("Incapaz de localizar o sensor 1");
  if(!sensors.getAddress(Term3,2))

```

```

Serial.println("Incapaz de localizar o sensor 2");
if(!sensors.getAddress(Term4,3))
Serial.println("Incapaz de localizar o sensor 3");
if(!sensors.getAddress(Term5,4))
Serial.println("Incapaz de localizar o sensor 4");
Serial.println(" ");
Serial.print("Sensor 0, Endereço: ");
printAddress(Term1);
Serial.println(" ");
Serial.print("Sensor 1, Endereço: ");
printAddress(Term2);
Serial.println(" ");
Serial.print("Sensor 2, Endereço: ");
printAddress(Term3);
Serial.println(" ");
Serial.print("Sensor 3, Endereço: ");
printAddress(Term4);
Serial.println(" ");
Serial.print("Sensor 4, Endereço: ");
printAddress(Term5);
Serial.println(" ");
}
void printAddress(DeviceAddress deviceAddress)
{ for(int i=0; i<8; i++) {
if(deviceAddress[i] < 16) Serial.print("0");
Serial.print(deviceAddress[i], HEX);
}
Serial.println(" ");
}
void loop() {
sensors.requestTemperatures();
float T1 = sensors.getTempC(Term1);
Serial.print("Sensor 1: ");
Serial.print(T1);
Serial.print(" °C");
Serial.print(" ");
Serial.print((T1*1.8)+32);
Serial.print(" °F");
Serial.print(" ");
Serial.print(T1+273);
Serial.print(" K");
Serial.print(" ");
Serial.println(" ");
Serial.println(" ");
float T2 = sensors.getTempC(Term2);

```

```
Serial.print("Sensor 2: ");
Serial.print(T2);
Serial.print("°C");
Serial.print(" ");
Serial.print((T2*1.8)+32);
Serial.print(" °F");
Serial.print(" ");
Serial.print(T2+273);
Serial.print(" K");
Serial.print(" ");
Serial.println(" ");
Serial.println(" ");
float T3 = sensors.getTempC(Term3);
Serial.print("Sensor 3: ");
Serial.print(T3);
Serial.print("°C");
Serial.print(" ");
Serial.print((T3*1.8)+32);
Serial.print(" °F");
Serial.print(" ");
Serial.print(T3+273);
Serial.print(" K");
Serial.print(" ");
Serial.println(" ");
Serial.println(" ");
float T4 = sensors.getTempC(Term4);
Serial.print("Sensor 4: ");
Serial.print(T4);
Serial.print("°C");
Serial.print(" ");
Serial.print((T4*1.8)+32);
Serial.print(" °F");
Serial.print(" ");
Serial.print(T4+273);
Serial.print(" K");
Serial.print(" ");
Serial.println(" ");
Serial.println(" ");
float T5 = sensors.getTempC(Term5);
Serial.print("Sensor 5: ");
Serial.print(T5);
Serial.print("°C");
Serial.print(" ");
Serial.print((T5*1.8)+32);
Serial.print(" °F");
```

```

Serial.print(" ");
Serial.print(T5+273);
Serial.print(" K");
Serial.print(" ");
Serial.println("");
Serial.println("");
Serial.println("");
Serial.println("");
Serial.println("");
delay(10000);
}

```

O sensor DS18B20 é um hardware que requer um outro software, além do Arduino IDE instalado no computador, esse outro software se chama “biblioteca” (biblioteca é um trecho de um software que fornece uma programação específica para um hardware), encontramos de forma fácil e gratuita na internet. Para o sensor de temperatura DS18B20 são necessárias duas bibliotecas. Para adquiri-las basta acessar, consecutivamente, os dois endereços eletrônicos, a seguir: <https://www.arduino-libraries.info/libraries/dallas-temperature> (para a biblioteca DallasTemperature), e <https://www.arduino-libraries.info/libraries/one-wire> (para a biblioteca OneWire).

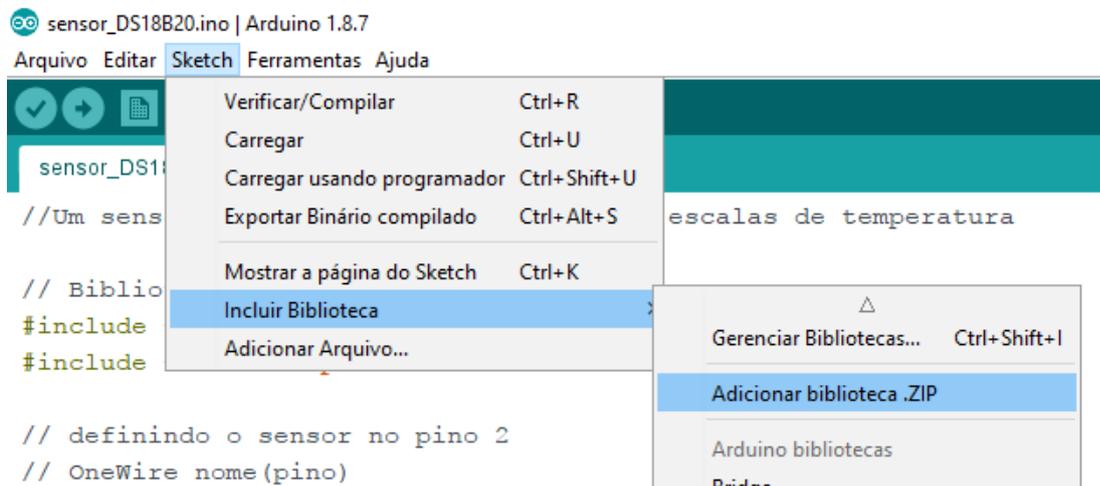
Acessando, de forma consecutiva, estes dois endereços eletrônicos, realizamos o download dessas duas bibliotecas salvando-as numa pasta conhecida no computador.

Em seguida, devemos inseri-las no “sketch” que foi digitado anteriormente.

Para isso, seguimos os passos:

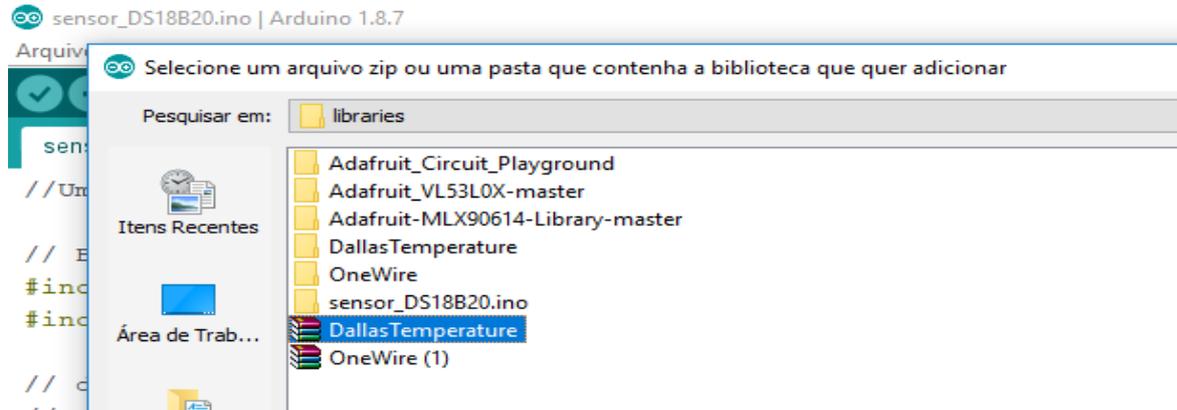
- Na barra de menu do Arduino IDE seguimos as opções: “Sketch”, “Incluir Biblioteca”, e “Adicionar Biblioteca” (vejamos o Print 5).

Print 5 – Adicionar biblioteca no sketch



- Buscamos o diretório do computador onde estão gravadas as bibliotecas e importamos para o Sketch selecionando corretamente a biblioteca já salva, uma de cada vez (Print 6).

Print 6 – Encontrando a biblioteca e abrindo



Fonte: Autor (2020)

Ao fazer estes dois passos, a biblioteca DallasTemperature constará no nosso sketch. Repetimos novamente estes dois passos, só que agora, para incluir a biblioteca OneWire no nosso sketch.

Após digitarmos toda a programação exatamente como foi mostrada e, inserirmos as duas bibliotecas, devemos, em seguida, verificar se a programação está correta. Fazemos isso clicando no botão “Verificar”, localizado na parte superior esquerda, e, esperar que a compilação seja terminada.

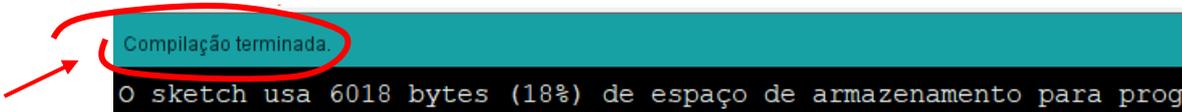
Print 7 – Acionando o botão Verificar



Fonte: Autor (2020)

Na parte inferior esquerda do sketch visualizamos se a programação foi compilada. Se não foi efetivada, devemos observar se houve erro na digitação do sketch, ou se as duas bibliotecas não foram incluídas. Logo após clicamos novamente no botão “Verificar” até efetivar a compilação.

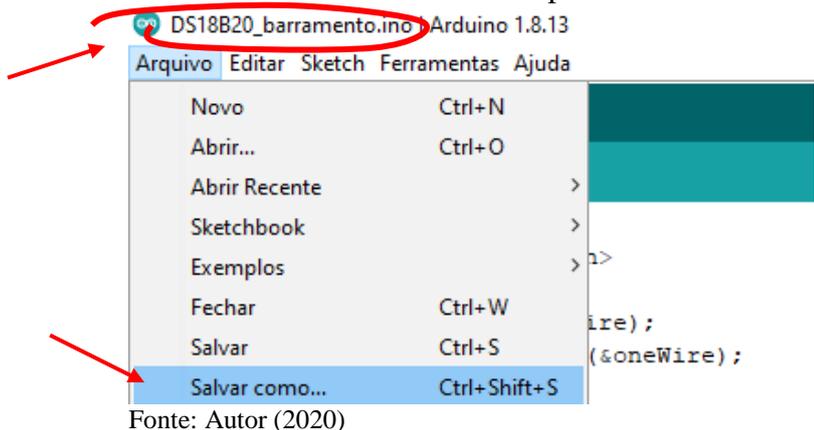
Print 8 – Progresso da compilação da programação



Fonte: Autor (2020)

Com a compilação terminada, salvamos este sketch clicando em “Arquivo”, e em “Salvar como...” usando a extensão **.ino** guardando numa pasta conhecida. Por exemplo, no Print 9 abaixo, o arquivo tem o nome **DS18B20_barramento.ino**.

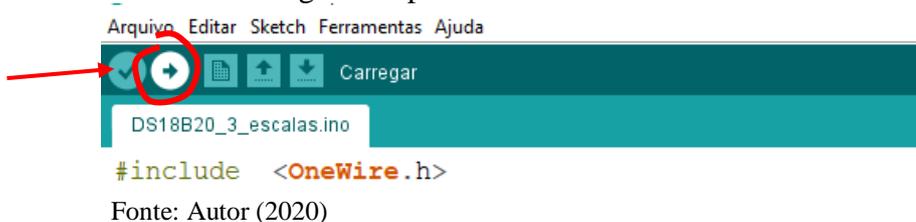
Print 9 – Salvando o sketch no computador



Para utilizar o sensor DS18B20 devemos conectar o fio PIN na porta digital 3 do Arduino UNO, o fio GND na porta GND, e o fio de 5V na porta 5V (ver Foto 129). Conectamos o outro cabo na placa do Arduino UNO e numa entrada USB do computador (ver Foto 131).

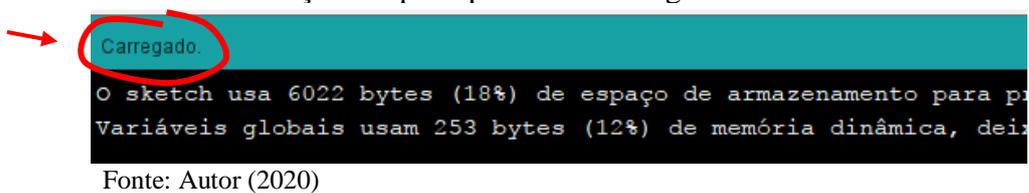
Para iniciar a medição da temperatura clicamos no botão “Carregar”, visualizado também na parte superior esquerda, ao lado do botão “Verificar”.

Print 10 – Carregando a placa Arduino UNO



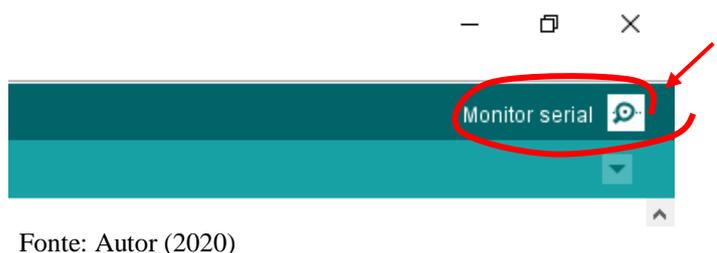
Se o sensor estiver conectado na placa arduino, e esta, no computador, então o Arduino IDE começará a fazer a medida da temperatura através do sensor logo que o sketch estiver carregado. É possível visualizar na parte inferior esquerda do sketch se o arduino está carregado.

Print 11 – Indicação de que a placa está carregada



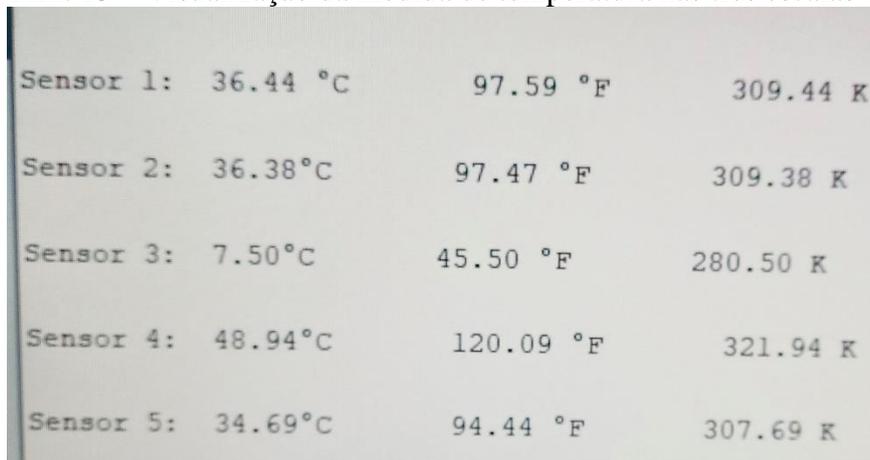
Por último, para visualizar a medida da temperatura nas três escalas clicamos no botão “Monitor Serial”, localizado na parte superior direita da área de trabalho do sketch.

Print 12 – Abrindo o Monitor serial



Com isso, aparecerá a janela do Monitor serial com os sensores do barramento, seguidos do valor da temperatura nas três escalas, respectivamente, em °C, °F e K, de acordo com o sketch que programamos anteriormente. No intervalo de 10 segundos surge uma nova linha com a medida de temperatura do último instante.

Print 13 – Visualização da medida de temperatura nas três escalas



Sensor 1:	36.44 °C	97.59 °F	309.44 K
Sensor 2:	36.38°C	97.47 °F	309.38 K
Sensor 3:	7.50°C	45.50 °F	280.50 K
Sensor 4:	48.94°C	120.09 °F	321.94 K
Sensor 5:	34.69°C	94.44 °F	307.69 K

Fonte: Autor (2020)

Pronto! Com isso, todo o aparato experimental do dilatômetro linear já está montado.

As etapas seguintes serão referentes à realização das práticas experimentais utilizando o sensor de temperatura e os Dilatômetros de Trilho, e de Alavanca, respectivamente.

Link para Pasta do Google Drive com vídeos instrutivos:

<https://drive.google.com/drive/folders/1DX4lxo-Pz0atF8XYuEHlvqzeaUUP08Kh?usp=sharing>

Realização da experimentação

Procedimentos para experimentação com o Dilatômetro de Trilhos

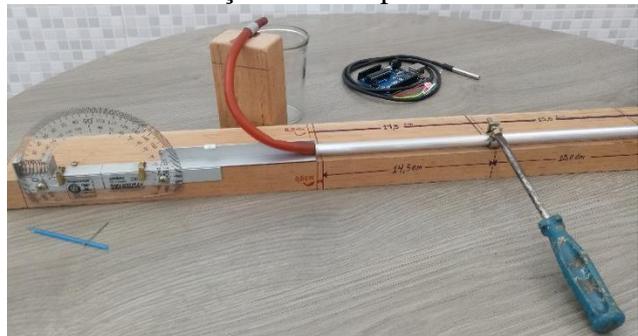
Na realização da prática, primeiramente, devemos fixar o tubo de metal em apenas uma das abraçadeiras com a ajuda de uma chave adequada. Antes de fazer isto, devemos retirar o alfinete (onde está fixado o ponteiro) que está entre os trilhos de alumínio. Deslocar o tubo em, exatamente, 5 mm na direção do trilho de apoio de alumínio. A borda do tubo deve fazer contato com o trilho de alumínio deixando a mangueira de látex livre. Veja nas Fotos 137 e 138, abaixo, este procedimento. O comprimento inicial ilustrado foi o de $L_0 = 150$ mm:

Foto 137 – Contato tubo-trilho



Fonte: Autor (2020)

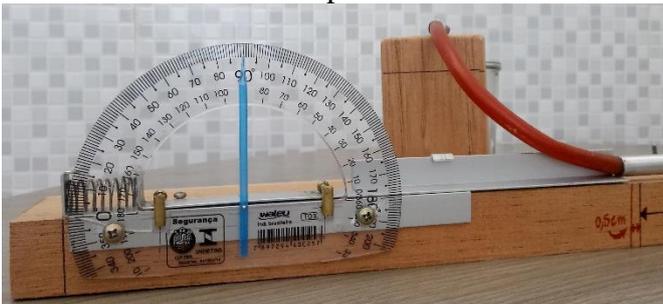
Foto 138 – Fixação do tubo para 15 cm



Fonte: Autor (2020)

Somente depois é que colocamos o alfinete (com ponteiro) entre os dois trilhos de alumínio de forma bem precisa, de maneira que o ponteiro marque uma medida no transferidor onde você considera que seja a temperatura inicial do tubo (Fotos 139 e 140).

Foto 139 – Alfinete com ponteiro



Fonte: Autor (2020)

Foto 140 – Posição correta do alfinete



Fonte: Autor (2020)

A segunda etapa é ligar o sensor com os pinos corretos na placa do Arduino UNO, em seguida, procurar pela programação (sketch). Após conectar todos os cabos, clicar no botão Carregar do sketch para acionar a placa, quando carregada, clicar em Monitor serial para aparecer os valores de temperatura mensurados pelo sensor DSB1820.

No intervalo de 10 segundos surge uma nova linha com a medida de temperatura do último instante.

Print 14 – Visualização da temperatura em Monitor serial

```
COM6  
Localizando Sensores  
Encontrados 1 dispositivos.  
  
Temperatura:  
Sensor 1.00: 34.00 °C 93.20 °F 307.00 K
```

Fonte: Autor (2020)

Terceira e última etapa de manuseio. Colocar água com diferentes temperaturas no funil de maneira que ela passe no interior do tubo de metal (Fotos 141 e 142). O objetivo é que a água inserida e o tubo de metal atinjam o equilíbrio:

- Inserimos água gelada, e em pouco tempo, anotamos na tabela a indicação no transferidor e a temperatura de equilíbrio final;
- Inserimos água com temperatura ambiente e anotamos a variação dos graus no transferidor e a temperatura de equilíbrio final. Esta foi a primeira variação da temperatura;
- Com a ajuda do ebulidor e do recipiente de 500 mL aquecemos 400 mL de água por um tempo bem cronometrado. Colocamos a água aquecida e anotamos a variação dos graus e a temperatura de equilíbrio final. Segunda variação da temperatura;
- Seguindo o mesmo procedimento anterior, aquecemos mais ainda a água de maneira a preencher as colunas da tabela de resultados.

Foto 141 – Água aquecida pelo ebulidor



Fonte: Autor (2020)

Foto 142 – Saída da água



Fonte: Autor (2020)

Ao realizarmos esta prática, os alunos devem anotar na tabela da seção 4.1 de RESULTADOS da 5ª Etapa da Sequência Didática, os valores de temperatura final T_f , em ordem crescente.

Outra forma seria em providenciar, no mínimo, quatro garrafas térmicas com água em temperaturas diferentes. Assim, não seria necessário o ebulidor para causar o aumento da temperatura da água. Para cada temperatura diferente marca-se a variação dos graus no transferidor.

Também poderíamos inserir água com temperatura elevada ($\sim 70^\circ\text{C}$). Daí então, esperamos que a temperatura diminua com o decorrer do tempo, pois todo o sistema tenderá a ficar novamente em equilíbrio térmico com o meio ambiente. Como sempre, cada temperatura diferente marca-se a variação dos graus no transferido. A leitura de temperatura seria decrescente.

Vejamos, logo abaixo, a tabela da seção 4.1 de RESULTADOS da Seqüência Didática (etapa 5)

Tabela 1 – Resultados da prática para o Dilatômetro de Trilhos

n_i (°)	n_f (°)	Δn (°)	ΔL (mm)	T_i (°C)	T_f (°C)	ΔT (°C)	α (1/°C)

$$\Delta L = 0,0157. \Delta n$$

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_i \cdot \Delta T}$$

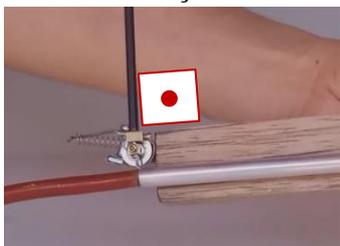
Fonte: Autor (2020)

Pela tabela acima, a 1ª, 2ª, 5ª e 6ª colunas são destinadas às anotações. As demais colunas podem ser preenchidas pelos cálculos, alguns estão indicados logo abaixo da tabela.

↳ **Procedimentos para experimentação com o Dilatômetro de Alavanca**

Semelhantemente ao primeiro dilatômetro, inicialmente devemos fixar o tubo de metal em apenas uma das abraçadeiras com a ajuda de uma chave adequada (Foto 144). Mas antes de fazer isto, devemos deslocar o tubo cuja sua pequena haste esteja em contato com a alavanca. A alavanca deve ter uma direção de 90° com a base de madeira do dilatômetro (Foto 143). A Foto 144 mostra a fixação do tubo para o comprimento inicial de $L_0 = 150$ mm.

Foto 143 – Direção da alavanca



Fonte: Autor (2020)

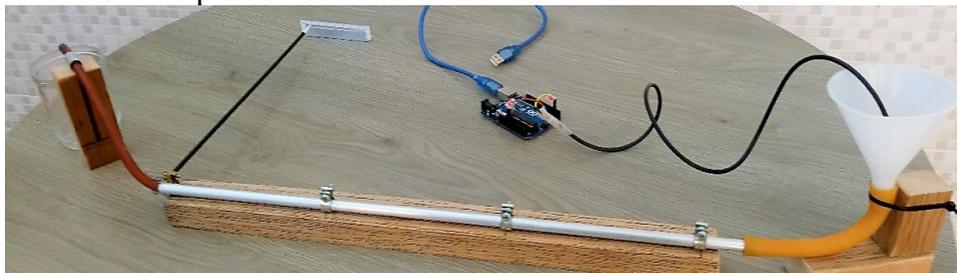
Foto 144 – Fixação do tubo para 15,0 cm



Fonte: Autor (2020)

Colocamos o sensor de temperatura DS18B20 no interior do tubo, na sua parte mediana, passando pelo funil. Conectamos os pinos na placa Arduino UNO, e a placa no computador. Colocamos o medidor, que é a régua milimétrica, bem alinhado com o ponteiro da alavanca (Foto 145).

Foto 145 – Preparo do sensor e da escala milimétrica



Fonte: Autor (2020)

Após conectar todos os cabos (os pinos na placa do Arduino UNO, e este no computador), clicar no botão Carregar do sketch para acionar a placa, quando carregada, clicar em Monitor serial para aparecer os valores de temperatura mensurados pelo sensor DS18B20.

No intervalo de 10 segundos surge uma nova linha com a medida de temperatura do último instante (ver Print 14).

Semelhantemente, ao procedimento do dilatômetro anterior, colocamos água com diferentes temperaturas no funil de maneira que ela passe no interior do tubo de metal (Foto 145). O objetivo é que a água inserida e o tubo de metal atinjam o equilíbrio:

- Inserimos água gelada, e em pouco tempo, anotamos na tabela a indicação na escala milimétrica da régua e a temperatura de equilíbrio final;
- Inserimos água com temperatura ambiente e anotamos a variação em milímetros na régua e a temperatura de equilíbrio final. Esta foi a primeira variação da temperatura;
- Com a ajuda do ebulidor e do recipiente de 500 mL aquecemos 400 mL de água por um tempo bem cronometrado. Colocamos a água aquecida e anotamos a variação dos milímetros na régua e a temperatura de equilíbrio final. Segunda variação da temperatura;
- Seguindo o mesmo procedimento anterior, aquecemos mais ainda a água de maneira a preencher as colunas da tabela de resultados com outras variações da temperatura da água.

Os alunos devem anotar na tabela da seção 4.1 de RESULTADOS da 5ª Etapa da Sequência Didática, os valores de temperatura final T_f , em ordem crescente.

Outra forma seria em providenciar, no mínimo, quatro garrafas térmicas com água em temperaturas diferentes. Assim, não seria necessário o ebulidor para causar o aumento da temperatura da água. Para cada temperatura diferente marca-se a variação dos graus no transferidor.

Também poderíamos inserir água com temperatura elevada (~70°C). Daí então, esperamos que a temperatura diminua com o decorrer do tempo, pois todo o sistema tenderá a ficar novamente em equilíbrio térmico com o meio ambiente. Como sabemos, para cada temperatura diferente marca-se a variação dos milímetros na régua. A leitura de temperatura, neste procedimento, seria decrescente.

Vejamos, logo abaixo, a tabela da seção 4.1 de RESULTADOS da Sequência Didática (etapa 5)

Tabela 2 - Resultados da prática para o Dilatômetro de Alavanca

B_i (mm)	B_f (mm)	ΔB (mm)	ΔL (mm)	T_i (°C)	T_f (°C)	ΔT (°C)	α (1/°C)

$$\Delta L = \frac{a}{A} \cdot \Delta B$$

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_i \cdot \Delta T}$$

Fonte: Autor (2020)

*Lembrando que: “a” e “A” são, respectivamente, o menor e o maior braço da alavanca;

* B_i – marcação inicial na régua;

* B_f – marcação final na régua;

* ΔB – variação das marcações (deslocamento).

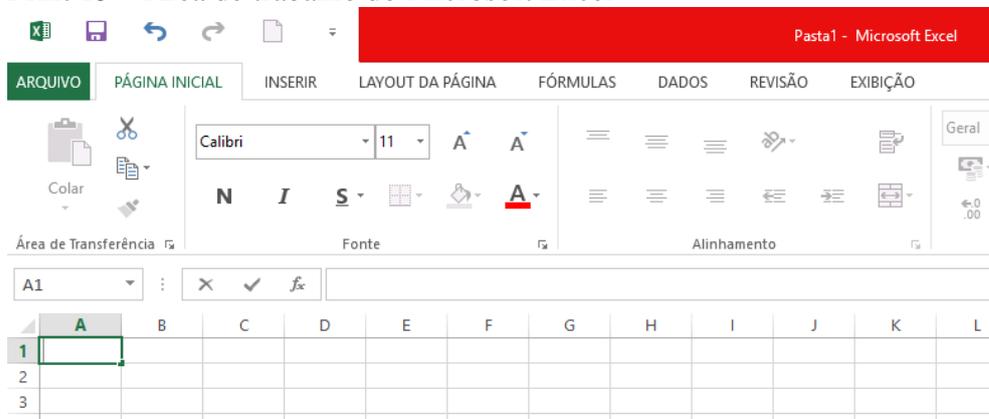
Gráficos no Microsoft Excel

Quando realizarmos com os estudantes a 5ª Etapa da nossa Sequência Didática (utilização do dilatômetro), na última parte de RESULTADOS faremos inferência dos dados das três tabelas em três gráficos respectivos, que relacionam a dilatação linear (ΔL) do tubo de metal com a variação da temperatura (ΔT) do mesmo. Para isto, usaremos o programa Excel na elaboração dos gráficos.

Seguem agora as instruções para esta prática:

- ✓ Clicando no ícone do Excel na Área de Trabalho do computador, ou na opção Programas, aparecerá nosso programa.

Print 15 – Área de trabalho do Microsoft Excel



Fonte: Autor (2020)

- ✓ Editamos os nomes, símbolos, e unidades de medida das quais se referem os três gráficos nas devidas localizações das células do Excel. Os valores de ΔT e ΔL serão aqueles encontrados no desenvolvimento da prática experimental nas três tabelas da parte de RESULTADOS. Na primeira linha de nossa tabela numérica devemos colocar $\Delta T = 0$ e $\Delta L = 0$, tais valores obedecem à relação empírica: $\Delta L = L_i \cdot \alpha \cdot \Delta T$. Nas demais linhas abaixo colocamos os quatro valores medidos na prática experimental.

No Print 16 a seguir, veremos valores hipotéticos na tabela numérica para artifício de ilustração. As variações de temperatura seguem em múltiplos de um fator numérico igual a dez. E as dilatações em décimos de milésimos.

Print 16 – Inserindo os valores de ΔT e ΔL das três tabelas da parte de Resultados

ARQUIVO PÁGINA INICIAL INSERIR LAYOUT DA PÁGINA FÓRMULAS DADOS REVISÃO										
A8										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Para Li= 150 mm			Para Li= 300 mm			Para Li= 450 mm			
2	ΔT (°C)	ΔL (mm)		ΔT (°C)	ΔL (mm)		ΔT (°C)	ΔL (mm)		
3	0	0		0	0		0	0		
4	10	0,0004		10	0,0008		10	0,0012		
5	20	0,0008		20	0,0016		20	0,0024		
6	30	0,0012		30	0,0024		30	0,0036		
7	40	0,0016		40	0,0032		40	0,0048		
8										

Fonte: Autor (2020)

- ✓ Para confeccionar o primeiro gráfico de $\Delta L \times \Delta T$ para $L_i = 150$ mm, selecionamos as colunas mostradas no Print 17 a seguir. *Também podemos selecionar os símbolos ΔT e ΔL .

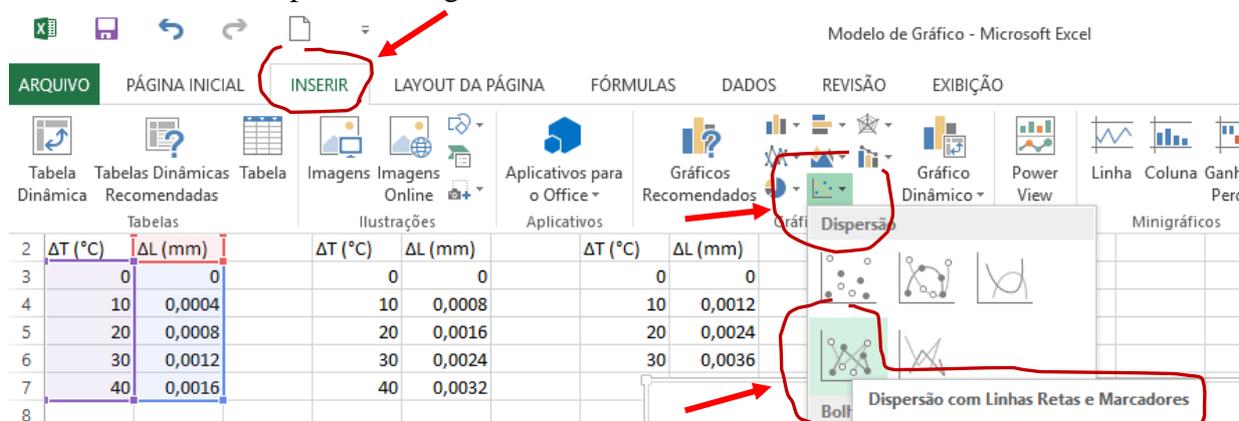
Print 17 – Selecionando as variáveis para o 1º gráfico de $\Delta L \times \Delta T$

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Para $L_i = 150$ mm		Para $L_i = 300$ mm			Para $L_i = 450$ mm		
2	ΔT (°C)	ΔL (mm)		ΔT (°C)	ΔL (mm)		ΔT (°C)	ΔL (mm)
3	0	0		0	0		0	0
4	10	0,0004		10	0,0008		10	0,0012
5	20	0,0008		20	0,0016		20	0,0024
6	30	0,0012		30	0,0024		30	0,0036
7	40	0,0016		40	0,0032		40	0,0048
8								

Fonte: Autor (2020)

- ✓ Clicamos na sequência as opções: INSERIR, Gráficos de Dispersão (com Linha Retas e Marcadores). Ao fazer essa sequência aparecerá o gráfico $\Delta L \times \Delta T$ referente às colunas selecionadas anteriormente.

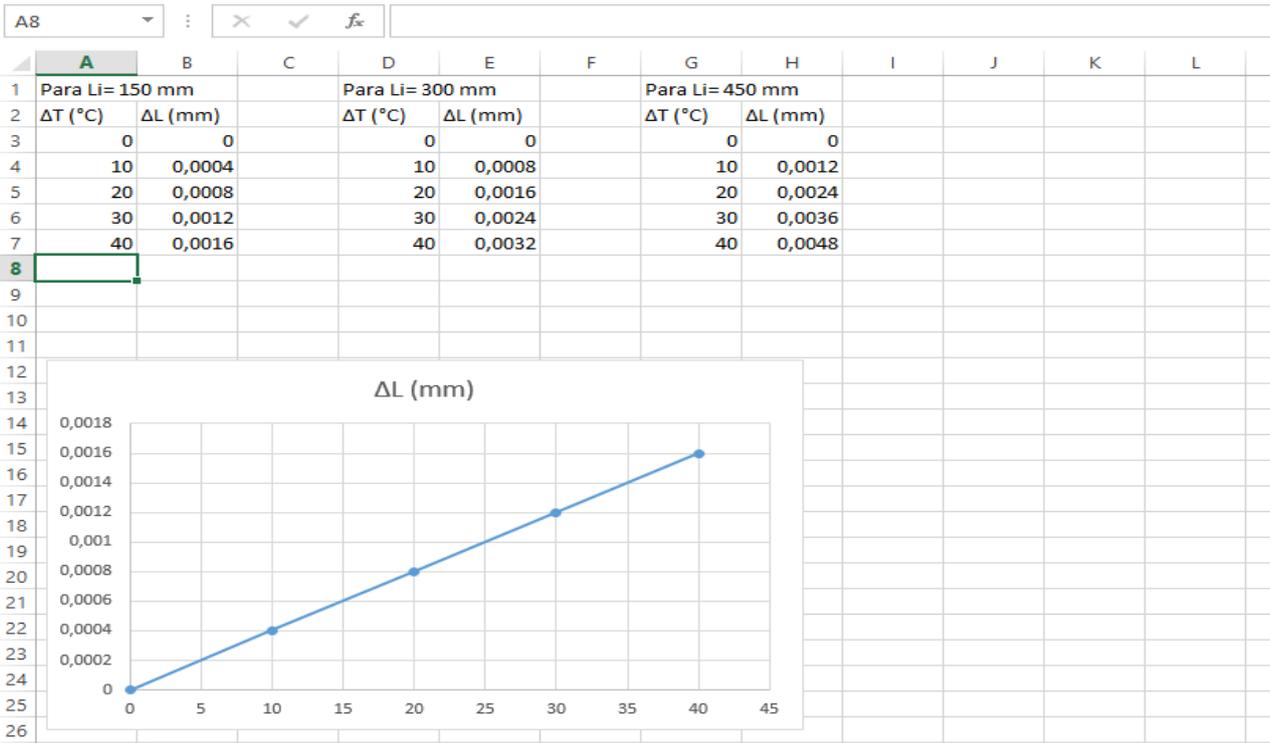
Print 18 – Comandos para criar o gráfico



Fonte: Autor (2020)

- ✓ Ao aparecer a imagem do nosso primeiro gráfico, redimensionamos o seu tamanho e transladamos este, de forma que esteja na ordem/posição mostrada no Print 19 a seguir.

Print 19 – 1º Gráfico ΔL x ΔT redimensionado e trasladado



Fonte: Autor (2020)

- ✓ Repetimos o mesmo procedimento para criar o segundo e terceiro gráfico, respectivamente, aos outros comprimentos iniciais: $L_i = 300$ mm e $L_i = 450$ mm. O resultado para as três tabelas consistirá em três gráficos ΔL x ΔT . Mas ainda nos resta redimensionar o segundo e terceiro gráfico de maneira que suas escalas verticais (eixo das ordenadas) estejam na mesma escala métrica para comparação das dilatações. Fazemos este redimensionamento apenas selecionando o gráfico, em seguida, clicando e arrastando com o mouse na ponta extrema superior da gravura do gráfico. Os eixos das abscissas também devem ter a mesma escala métrica nos três gráficos.

* OBS:

Devemos verificar se as medidas de mesmo valor do eixo vertical estão na mesma linha de altura. Vejamos os três gráficos (Print 20) na mesma escala na página seguinte.

Link para pasta do Google Drive com vídeos da montagem dos Gráficos:

<https://drive.google.com/drive/folders/1xVGM8KIAFJ4c8GmsGwv1aO5bW522NFoQ?usp=sharing>

Print 20 – Três gráficos ΔL x ΔT na mesma escala

Modelo de Gráfico - Microsoft Excel

FERRAMENTAS DE DESENHO

FORMATAR

FÓRMULAS

DADOS

REVISÃO

EXIBIÇÃO

PÁGINA INICIAL (Não é Possível Refazer (Ctrl+Y)) DA PÁGINA

ARQUIVO

Conector ...

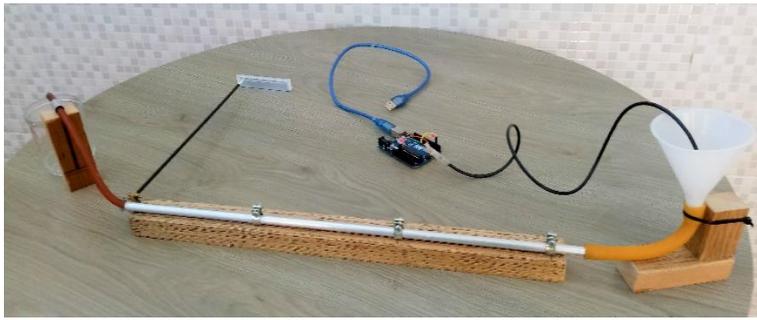
	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Para Li=150 mm		Para Li=300 mm		Para Li=450 mm		
2	ΔT (°C)	ΔL (mm)						
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	10	0,0004	10	0,0008	10	0,0012	10	0,0012
5	20	0,0008	20	0,0016	20	0,0024	20	0,0024
6	30	0,0012	30	0,0024	30	0,0036	30	0,0036
7	40	0,0016	40	0,0032	40	0,0048	40	0,0048

Fonte: Autor (2020)

Nos gráficos da página anterior, a linha tracejada de cor vermelha indica a altura correspondente à escala métrica de 0,002 no eixo das ordenadas nos três gráficos. Reforçando nossa instrução de que devemos redimensionar os gráficos de maneira que suas escalas sejam iguais.

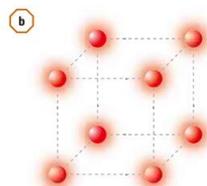
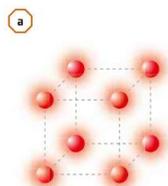
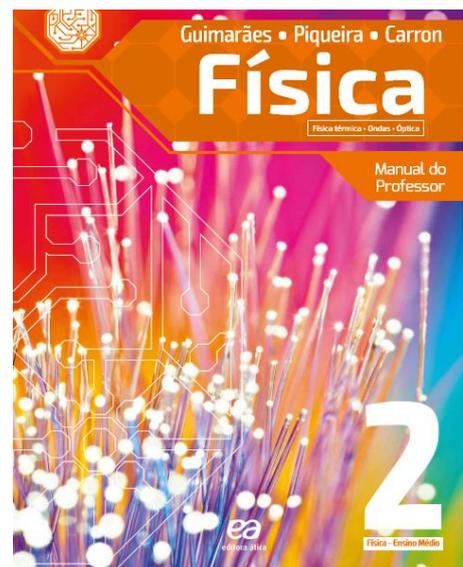
Termina aqui nosso **Manual de Construção do Dilatômetro Linear**, todos estes procedimentos foram descritos no intuito de bem orientar o professor na construção e manuseio do aparelho, tanto quanto na utilização da parte hardware e software do Arduino, como também o uso do Microsoft Excel no computador. Esperamos que este manual tenha considerada eficácia na parte experimental designada à Termometria.

A **Sequência Didática**, próximo tópico a seguir, refere-se a uma metodologia que serve como um tipo de exemplo a ser direcionada aos professores. O professor pode utilizá-la nas suas aulas, como também usá-la em parte, ou pode pretender em não a utilizar. Esta seqüência consta de leituras, questionários abertos e fechados, e roteiros de prática experimental, no intuito de oferecer coerência entre a teoria e a prática no estudo da Termometria. Ela foi devidamente planejada em seis (6) etapas que podem ser adequadas/cronometradas a um determinado número de aulas, sendo estas compostas de partes teóricas e práticas.



Seqüência Didática sobre:

TERMOMETRIA



TERMOMETRIA

1ª Etapa – Questionário: Fenômenos térmicos

A expressão “fenômenos térmicos” está relacionada aos acontecimentos que ocorrem a todo instante e em todos os lugares na natureza. Nós sempre presenciamos, e mais ainda, nós sentimos na pele quando tocamos vários objetos e falamos nas mudanças de quente em frio, ou, frio em quente. Ou quando verificamos as transformações que ocorrem na matéria, como por exemplo, as mudanças de fases da água e de outras substâncias puras. Todas estas e outras experiências são exemplos claros de fenômenos térmicos.

O questionário abaixo procura esclarecer o que você entende acerca destes “fenômenos térmicos” para um melhor aprofundamento na aprendizagem na Termometria.

Esperamos que este questionário possa deixá-lo(a) à vontade nesta primeira parte do nosso trabalho!

Foto 146 - O nascer do Sol



Fonte: <https://www.1zoom.me/es/wallpaper/558082/z8085.4/3840x2160> (2020)

1) Na sua opinião, quais são os agentes (ou elementos) que existem na natureza que mais provocam os fenômenos térmicos?

R: _____

2) Diga com suas palavras o que é a matéria, o fogo e a luz.

R: Matéria

Fogo

Luz

Foto 147 – Fósforo aceso



Fonte: <http://miconuncamais.blogspot.com/2012/12/os-tres-fosforos-de-silvio-luzardo.html> (2020)

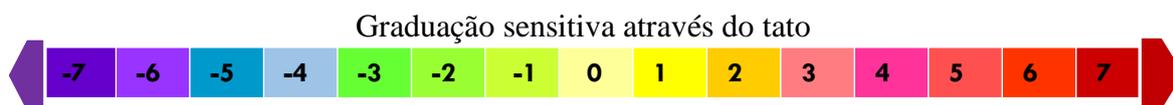
3) Existem outras palavras que estejam ligadas aos fenômenos térmicos sem que possamos falar nas palavras quente e frio? Que palavras seriam estas?

R: _____

4) Você concorda que o sentido do tato (sentir na pele) possa medir a sensação de quente e frio da mesma forma para todas as pessoas?

R: _____

5) Pensemos na seguinte experiência: são postas duas bacias, ambas com mesma quantidade de água, só que uma está com água quente e a outra com água fria. Em seguida, pedimos para um grupo de, mais ou menos, seis pessoas, tocarem suas mãos em ambas as bacias para sentirem através do tato a ocorrência de um fenômeno térmico. E por último, pedimos para que estas pessoas anotassem com um “x” numa escala numérica, mostrada abaixo, um valor para tentar medir as intensidades entre quente e frio.



Você esperaria por um resultado no qual todas as pessoas marcariam o mesmo valor, um para a água quente, e outro para a fria? Explique.

R: _____

6) Para comparar a sensação de frio e quente de qualquer objeto quando tateamos (seguramos, ou tocamos) é necessário que esperemos um certo tempo para fazer tal comparação? Ou melhor, de imediato já saberemos do “grau” de quente ou de frio?

R: _____

7) Pensemos num pedaço de ferro muito quente que chega até ficar vermelho!

Foto 148 – Ferro incandescente



Fonte: <https://www.oficinadanet.com.br/post/13749-como-eram-feitas-as-katanas> (2020)

Neste pedaço de metal há energia? Há temperatura? Há calor nele?

R: _____

8) Diga com suas palavras o que você entende por temperatura.

R: _____

9) Que método você utilizaria para tentar medir a temperatura de uma porção de matéria, como por exemplo, uma porção de água?

R: _____

TERMOMETRIA

2ª Etapa – Leitura: Lei do Equilíbrio Térmico e o conceito de Temperatura

1) Noções de temperatura e calor

As sensações térmicas provocadas por uma xícara de café bem quente ou por um refrigerante bem gelado nos proporcionam as noções mais simples de temperatura: quente e frio. No dia a dia, é comum utilizarmos o tato para avaliar a temperatura dos corpos. Mas esse procedimento às vezes nos engana. Ao tocar com a mão uma porta de madeira e sua maçaneta de metal, temos sensações térmicas diferentes, mesmo que ambas estejam em **equilíbrio térmico** (mesma temperatura). Mas como são criadas tais sensações?

Qualquer corpo, seja sólido, líquido ou gasoso, é composto (em nível microscópico) de partículas em constante agitação (**figura 1.1**). O estado térmico desse corpo é definido pela intensidade de agitação dessas partículas (átomos, moléculas, íons, elétrons livres). Dependendo da intensidade, é possível dizer que um corpo está quente, frio, morno, etc.



Figura 1.1 Representação (sem escala e em cores fantasia) da agitação das partículas que formam os sólidos, os líquidos e os gases.

Quando dois corpos, com diferença de temperatura, são colocados em contato, a energia é transferida em razão das colisões microscópicas das partículas que os constituem. A energia é transferida do corpo que possui maior grau de agitação média das partículas para o corpo com menor grau. Essa troca de energia termina quando as partículas dos dois corpos tiverem o mesmo grau de agitação média. Nessa situação final, dizemos que os corpos estão em **equilíbrio térmico**.

O **calor** é a quantidade de energia transferida durante esse procedimento.

Fisicamente, quando falamos em calor, trata-se de um **processo**, e, quando falamos de temperatura, trata-se do **estado** de um corpo.

Por exemplo, é comum nos dias muito frios as pessoas esfregarem as mãos para aquecê-las. Nesse processo, a energia mecânica dissipada pelo atrito entre as mãos transforma-se em agitação térmica, isto é, as mãos recebem calor.

Voltando ao exemplo da porta de madeira com maçaneta de metal: por que os dois corpos, que estão em contato há muito tempo e, portanto, em equilíbrio térmico, nos causam sensações térmicas diferentes?

A menos que seja um dia muito quente, seu corpo estará com temperatura mais alta que os dois objetos (lembre-se de que nossa temperatura é 36,5 °C) e cederá calor para eles. O metal, contudo, por ser melhor condutor de calor que a madeira, retira energia com mais rapidez de nossas mãos, o que explica as sensações térmicas diferentes.

Termômetros

Para medir e comparar temperaturas, utilizamos o **termômetro** (figura 1.2).



Figura 1.2 Termômetro com escala de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, muito utilizado em refrigeração (a) e termômetro clínico, usado para medir a temperatura do corpo humano (b).

A interpretação de suas medidas baseia-se no que se convencionou chamar de lei zero da Termodinâmica:

Se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo, então esses corpos estão em equilíbrio térmico entre si.

Podemos pensar no termômetro como o terceiro corpo mencionado pela lei zero. Se o termômetro apresenta a mesma leitura para dois corpos diferentes, então esses corpos estão em equilíbrio térmico. Em um terceiro modo de enunciar essa lei, podemos dizer: **dois corpos estão em equilíbrio térmico quando têm a mesma temperatura.**

Cada termômetro apresenta determinada escala de leitura. Na construção de um termômetro, primeiro é escolhida uma grandeza termométrica, ou seja, uma grandeza que varie com a temperatura. São exemplos de grandezas termométricas, o comprimento de uma coluna de mercúrio, o tamanho de uma barra de ferro, a pressão exercida por um gás em um recipiente de volume constante, etc.

Em seguida, o dispositivo é colocado em contato com dois estados térmicos diferentes. Antes de dar-se o equilíbrio térmico são atribuídos números representando cada um desses estados. Geralmente, os dois estados térmicos utilizados, denominados **pontos fixos**, são a fusão do gelo e a ebulição da água, ambos sob pressão de 1 atm (figura 1.3).



A relação entre a grandeza termométrica e a temperatura deve ser tal que a cada valor da grandeza corresponda uma única temperatura. A medida da temperatura de um corpo é feita, indiretamente, pelo efeito provocado na grandeza termométrica quando em equilíbrio térmico com o corpo.

Figura 1.3 Pontos fixos da água: os estados térmicos para calibragem da escala termométrica. Representações sem escala e em cores fantasia.

2 Escalas Celsius e Fahrenheit

A escala de temperatura adotada pela maioria dos países é a escala Celsius, elaborada em 1742 por Anders Celsius (1701-1744). Essa escala considera para o ponto de fusão do gelo o valor 0 e, para o ponto de ebulição da água sob pressão normal, o valor 100. O intervalo obtido entre os dois pontos fixos é dividido em cem partes iguais e cada parte corresponde à unidade da escala, denominada grau Celsius (°C).

A escala Fahrenheit foi construída em 1727 por Daniel G. Fahrenheit (1686-1736). Diferentemente de Celsius, ele utilizou como primeiro ponto fixo uma mistura frigorífica de água, gelo e um tipo de sal e atribuiu a ela o valor 0, e ao segundo ponto fixo, a temperatura do corpo humano, ele atribuiu o valor 96.

Ao projetarmos, na escala Fahrenheit, os pontos fixos escolhidos por Celsius, obtemos os seguintes valores: 32 para o ponto de fusão do gelo e 212 para o ponto de ebulição da água. Assim, na escala Fahrenheit, o intervalo entre esses dois pontos fixos é dividido em 180 partes (212 - 32). Cada parte corresponde à unidade da escala, denominada grau Fahrenheit (°F).

A conversão de temperaturas entre as escalas é feita por meio da comparação dos segmentos *a* e *b* da coluna termométrica que correspondem aos mesmos estados térmicos, independentemente das escalas utilizadas (**figura 1.4**).

$$\frac{a}{b} = \frac{\Delta\theta_C}{100 - 0} = \frac{\Delta\theta_F}{212 - 32} \Rightarrow \frac{\Delta\theta_C}{100} = \frac{\Delta\theta_F}{180}$$

Da relação acima, obtemos:

$$\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9}$$

Como $\Delta\theta_C = \theta_C - 0$ e $\Delta\theta_F = \theta_F - 32$, obtemos:

$$\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F - 32}{9}$$

A primeira expressão, $\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9}$, é utilizada quando

queremos comparar somente as variações de temperatura. Já a segunda expressão nos fornece diretamente a comparação entre as temperaturas propriamente ditas (**figura 1.5**).

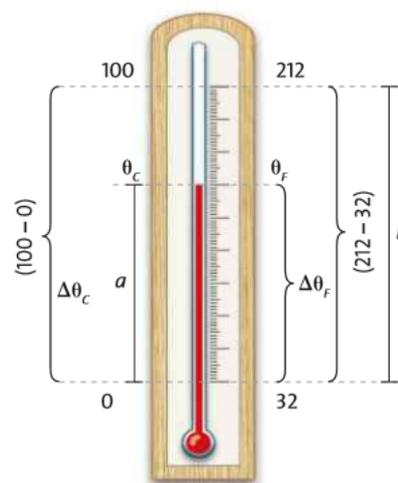


Figura 1.4 Esquema comparativo das escalas Celsius e Fahrenheit.



Figura 1.5 Termômetro graduado nas escalas Celsius, à esquerda, e Fahrenheit, à direita.

3 Kelvin, uma escala absoluta

A evolução tecnológica alcançada a partir da Revolução Industrial do começo do século XIX trouxe consigo algumas questões relacionadas aos processos de fundição que exigiam altas temperaturas. Uma delas foi: até que ponto seria possível aquecer um corpo?

A experiência vem mostrando, cada vez mais, que não há limite para isso. Temperaturas de algumas centenas de graus Celsius, consideradas altas há cem anos, tornam-se insignificantes diante do conhecimento de outras, como, por exemplo, as de algumas dezenas de milhões de graus Celsius no interior das estrelas.

E até que ponto seria possível resfriar um corpo? Para responder a essa pergunta, veremos mais sobre o conceito de pressão e sua relação com a temperatura.

O físico e matemático irlandês William Thomson (1824-1907), homenageado com o título de lorde Kelvin, estudou o comportamento dos gases. Ele verificou que todos os gases – na faixa em que podemos considerá-los gases ideais – se dilatam numa mesma proporção, em relação ao volume inicial, quando se mantêm sob pressão constante.

As escalas em que Kelvin fez sua análise eram as disponíveis na época, como a Celsius, por exemplo. O gráfico da **figura 1.6** ilustra uma parte da sua análise. À medida que aumenta a temperatura do gás, seu volume também aumenta. Reciprocamente, à medida que diminui a temperatura do gás, seu volume também diminui.

Até que ponto é possível diminuir o volume de um gás? Até que ele fique nulo. Essa discussão nos leva a uma concepção da estrutura da matéria – em particular, dos gases – junto com o conceito de temperatura. Qualquer porção de matéria, seja ela sólida, líquida, seja gasosa, é composta de moléculas, átomos, íons, elétrons livres, que chamaremos simplesmente de partículas, em constante agitação. A partícula representa a menor parte que conserva as mesmas propriedades químicas da matéria. Considerando certa substância sob determinada pressão, a agitação dessas partículas (**figura 1.7**) é mais intensa nos gases do que nos líquidos, e nos líquidos é mais intensa do que nos sólidos.

Para um mesmo estado físico, a agitação molecular está intimamente relacionada à temperatura. Como vimos, uma temperatura mais alta indica maior agitação molecular e, portanto, maior energia cinética média. Assim, a menor temperatura possível é aquela em que a energia cinética média é nula. As partículas estariam em repouso, e então, nessa temperatura, o volume livre entre as partículas também seria nulo.

Retomemos o gráfico visto na **figura 1.6** e vamos analisar a região em que a temperatura, na escala Celsius, é negativa (**figura 1.8**).

Comportamento do volume de um gás em função da temperatura sob pressão constante

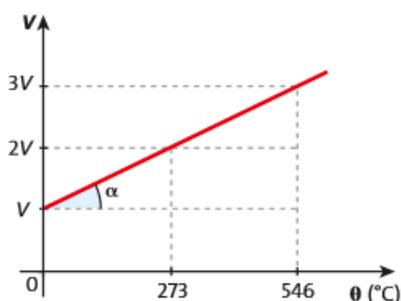


Figura 1.6



Figura 1.7
Representação (sem escala e em cores fantasia) de partículas em agitação térmica.

Varição do volume de um gás em relação à temperatura sob pressão constante

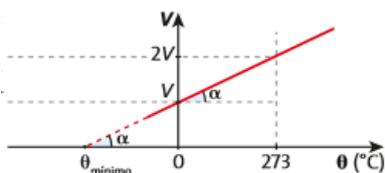


Figura 1.8

Observe que a inclinação da reta (coeficiente angular) é:

$$m = \frac{\Delta V}{\Delta \theta} \Rightarrow m = \frac{2V - V}{546 - 273}$$

Portanto, $m = \frac{V}{273}$

O ponto em que a reta intercepta o eixo das abscissas é o ponto que corresponde a um volume nulo. A temperatura referente a esse ponto é obtida por:

$$m = \frac{V}{273} = \frac{V - 0}{0 - \theta_c} \Rightarrow \theta_c = -273 \text{ }^\circ\text{C}$$

A esse ponto, $-273 \text{ }^\circ\text{C}$, conhecido como zero absoluto, que corresponde ao limite inferior de temperatura, Kelvin atribuiu o valor zero de sua escala ($0 \text{ K} = -273 \text{ }^\circ\text{C}$). Estava assim determinada, teoricamente, a menor temperatura possível. Para construção de uma verdadeira escala de temperaturas – uma escala absoluta –, faltava escolher o tamanho do grau. No caso da escala Kelvin escolheu-se o tamanho de divisão que possui a escala Celsius.

Pela própria definição, uma variação de x unidades na escala Kelvin corresponde a uma variação de x unidades na escala Celsius. Assim, qualquer variação de temperatura é representada pelo mesmo valor nas duas escalas, Celsius e Kelvin. A **figura 1.9** representa a comparação entre as escalas Celsius e Kelvin, com relação às temperaturas e às variações de temperatura.

Podemos, finalmente, relacionar as três escalas mais utilizadas, Celsius, Fahrenheit e Kelvin (**figura 1.10**):

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{\theta_c - 32}{9} = \frac{T - 273}{5}$$

Se considerarmos apenas as variações de temperatura, temos:

$$\frac{\Delta \theta_c}{5} = \frac{\Delta \theta_f}{9} = \frac{\Delta T}{5}$$

Observações:

- O zero absoluto é inacessível na prática. Pode-se chegar bastante perto, mas quanto mais próximo dessa temperatura, mais difícil fica para o corpo ceder energia térmica, pois essa transferência se faria para outro corpo cujo grau médio de agitação das partículas fosse menor.
- Frio não existe como grandeza física. Um corpo esfria quando cede calor. Se um corpo pudesse receber frio, não existiria um limite inferior para a temperatura.
- É possível obter outras escalas absolutas trabalhando-se com tamanhos de divisões diferentes do da escala Celsius, mas o zero será o mesmo para todas elas.

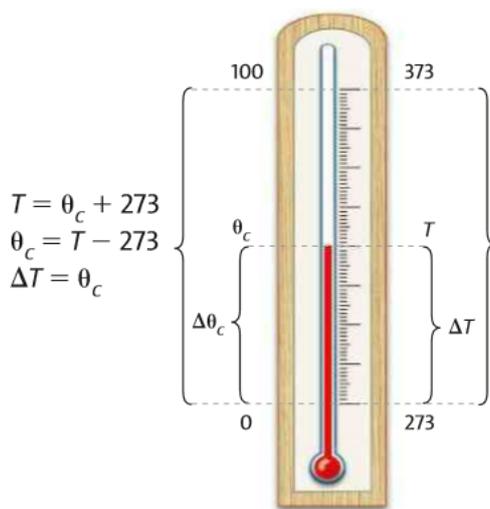


Figura 1.9 Esquema comparativo das escalas Celsius e Kelvin.

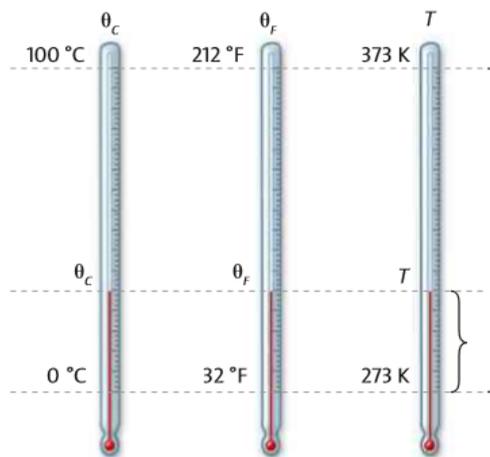


Figura 1.10 Pontos de fusão e ebulição da água, sob pressão atmosférica normal, para as escalas Celsius (C), Fahrenheit (F) e Kelvin (K).

TERMOMETRIA

3ª Etapa – Prática Experimental: Escalas de Temperatura e Lei do Equilíbrio Térmico

1 OBJETIVOS

- 1.1 Utilizar o sensor DS18B20, microcontrolador arduino e computador como instrumentos mediadores na aferição de medidas de temperatura;
- 1.2 Mostrar a determinação numérica da temperatura das escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin para os pontos fixos de fusão e ebulição da água num ambiente com pressão atmosférica, aproximadamente, igual à do nível do mar;
- 1.3 Mostrar a relação de variação da temperatura entre as escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin;
- 1.4 Verificar a lei do equilíbrio térmico.

2 MATERIAIS

Foto 149 – Materiais para 3ª Etapa



- 2.1 Um sensor DS18B20
- 2.2 Placa Arduino UNO
- 2.3 Microcomputador
- 2.4 Ebulidor de água
- 2.5 Dois copos de vidro de ~120 ml
- 2.6 Recipiente de vidro de 500 ml

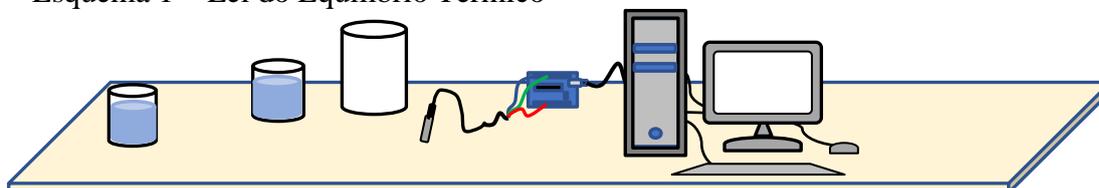
Fonte: Autor (2020)

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Lei do Equilíbrio Térmico

- Encher os dois copos com água em temperatura ambiente, e em seguida, mergulhar o sensor DS18B20 para mensurar a temperatura da água, consecutivamente, em ambos os copos.
- Depois colocar a água dos copos no recipiente de 500 ml para medir a temperatura da mistura.
- Anotar a temperatura nas respectivas escalas Celsius (°C), Fahrenheit (°F) e Kelvin (K) no tópico 4.1 de RESULTADOS.

Esquema 1 – Lei do Equilíbrio Térmico



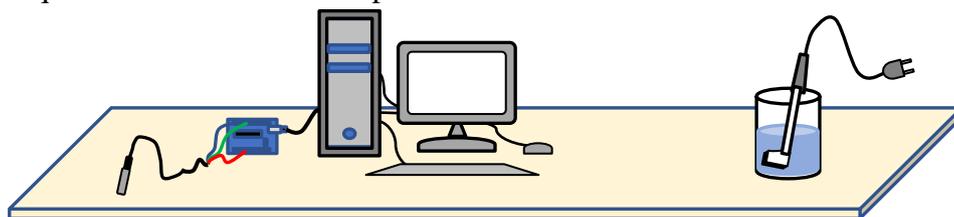
Fonte: Autor (2020)

3.2 Escalas de Temperatura

Nesta prática utilizaremos um copo com água gelada (retirada diretamente de um refrigerador) e um ebulidor de água (pode-se usar outras fontes de calor, como um micro-ondas).

- Colocamos a água gelada no recipiente de 500 ml, e em seguida submergimos o sensor de temperatura no recipiente para que este atinja o equilíbrio térmico na água gelada.
- Acionamos o ebulidor dentro do recipiente de maneira que a temperatura da água aumente, até uma temperatura de $\sim 70^{\circ}\text{C}$. Sempre observando e anotando a temperatura para intervalos iguais de tempo (~ 30 segundos). Estas anotações devem ser feitas no tópico 4.2 de RESULTADOS, simultaneamente, para os valores nas três escalas (Celsius, Fahrenheit e Kelvin).

Esquema 2 - Escalas de Temperatura



Fonte: Autor (2020)

4. RESULTADOS

4.1 Lei do Equilíbrio Térmico

Tabela 3 – Anotações para prática da Lei do Equilíbrio Térmico

Água no 1º copo			Água no 2º copo			Mistura no recipiente		
°C	°F	K	°C	°F	K	°C	°F	K

Fonte: Autor (2020)

4.2 Escalas de Temperatura

Tabela 4 – Anotações para prática de Escalas de Temperatura

<div style="border: 1px solid green; border-radius: 15px; padding: 10px; margin-bottom: 5px; background-color: #e0f2f1;">°C</div> <div style="border: 1px solid green; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid green; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid green; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid green; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid green; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid green; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div>	<div style="border: 1px solid orange; border-radius: 15px; padding: 10px; margin-bottom: 5px; background-color: #fff9c4;">°F</div> <div style="border: 1px solid orange; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid orange; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid orange; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid orange; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid orange; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid orange; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div>	<div style="border: 1px solid blue; border-radius: 15px; padding: 10px; margin-bottom: 5px; background-color: #e1bee7;">K</div> <div style="border: 1px solid blue; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid blue; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid blue; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid blue; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid blue; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid blue; border-radius: 5px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div>	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 100px; margin: 0 5px;"></div> <div style="margin: 0 5px;">+</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-top: 5px;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 100px; margin: 0 5px;"></div> <div style="margin: 0 5px;">-</div> </div>
---	--	---	--

Fonte: Autor (2020)

5 QUESTIONÁRIO

5.1 Após um tempo considerável, numa sala toda fechada, todos os objetos dentro desta sala atingirão o equilíbrio térmico? E, se incluirmos pessoas na sala?

5.2 A variação da temperatura causa outros efeitos, ou fenômenos, em objetos inanimados (sem vida), além da sensação de frio e quente que nós, seres vivos, sentimos? Pode citar algum?

5.3 Através dos números medidos nas três escalas, verifique de forma respectiva se a variação da temperatura dada por: $\Delta T = T_f - T_i$, é a mesma nas três escalas.

* Recomenda-se dois, ou três, cálculos como este para cada escala de temperatura.

Varição em °C	Varição em °F	Varição em K

5.4 Respectivamente, para cada medida, a variação na escala de temperatura ΔT é a mesma nas três escalas? R: _____

Expresse o número que relaciona a variação de temperatura entre duas escalas!

$$\frac{\Delta T_F}{\Delta T_C} = \boxed{}$$

$$\frac{\Delta T_F}{\Delta T_K} = \boxed{}$$

$$\frac{\Delta T_K}{\Delta T_C} = \boxed{}$$

TERMOMETRIA

4ª Etapa – Leitura: Estudo da Dilatação Térmica dos Sólidos e Líquidos

4 Dilatação térmica de sólidos

Quando você passar por uma ponte ou um viaduto, poderá observar pequenos vãos preenchidos com piche. Esses vãos existem para permitir a dilatação térmica das estruturas.

A dilatação térmica estuda as variações no comprimento de uma barra, na área de uma placa, no volume de um líquido, ou em outra grandeza qualquer, provocadas por variações de temperatura (figura 1.11).

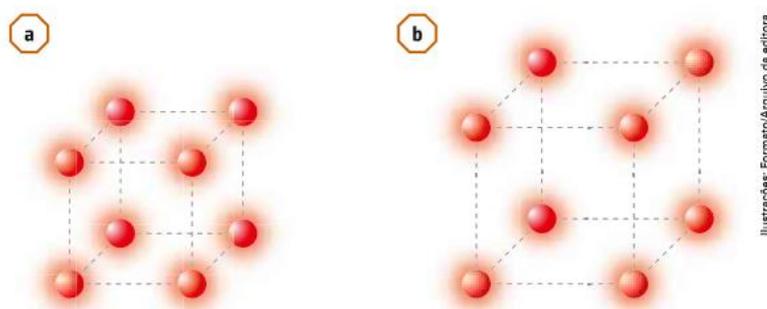


Figura 1.11 Elemento da rede cristalina à temperatura θ_0 (a); o mesmo elemento à temperatura $\theta > \theta_0$ (b). O espaçamento entre as partículas aumentou. Representações sem escala e em cores fantasia.

Genericamente, chamamos o fenômeno de **dilatação térmica**, mas a variação de comprimento também pode ser negativa, isto é, as reduções de temperatura levam, em geral, a uma **contração térmica**.

A dilatação térmica pode ser verificada experimentalmente. Por exemplo, na figura 1.12 vemos um sólido, inicialmente a uma temperatura θ_0 , e a seguir o mesmo sólido, um pouco mais quente, numa temperatura θ . É certo que todo sólido sofre variação nas três dimensões (comprimento, largura e altura), mas aqui a maior diferença foi a da variação do comprimento L do sólido, a que chamamos de **dilatação térmica linear**.

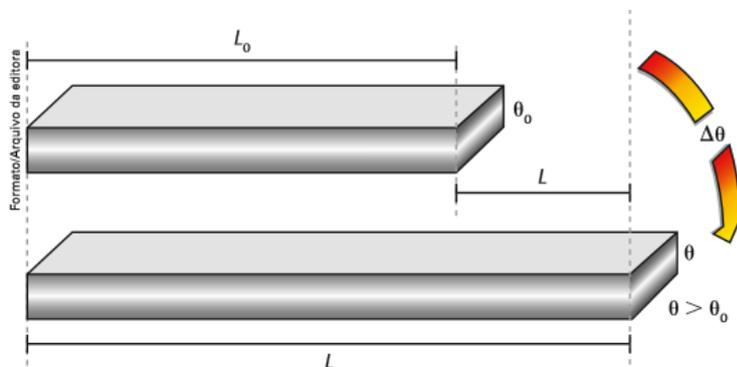


Figura 1.12 Representação exagerada da dilatação térmica do comprimento de uma barra.

Experimentalmente, verifica-se que a dilatação térmica linear ΔL sofrida pela barra é diretamente proporcional ao comprimento inicial da barra L_0 e à variação da temperatura $\Delta\theta$:

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

Nessa expressão, α é uma constante, denominada **coeficiente de dilatação linear**, característica do material constituinte do sólido. O comprimento final do sólido é dado por:

$$L = L_0 + \Delta L \text{ ou } L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

A **tabela 1.1** apresenta os valores médios dos coeficientes de dilatação linear de alguns materiais sólidos, para temperaturas em torno de 20 °C.

Embora a dilatação térmica seja relativamente pequena em relação ao comprimento inicial da barra, os esforços estruturais provocados por uma dilatação não prevista são muito intensos. Vejamos alguns exemplos do uso dessas “folgas”, chamadas juntas de dilatação:

Tabela 1.1 Valores médios dos coeficientes de dilatação linear de alguns materiais sólidos

Material	α (°C ⁻¹)
porcelana	$3 \cdot 10^{-6}$
cobre	$17 \cdot 10^{-6}$
vidro pirex	$3 \cdot 10^{-6}$
latão	$19 \cdot 10^{-6}$
vidro comum	$8 \cdot 10^{-6}$
alumínio	$22 \cdot 10^{-6}$
platina	$9 \cdot 10^{-6}$
zinco	$26 \cdot 10^{-6}$
ferro	$12 \cdot 10^{-6}$
concreto	$12 \cdot 10^{-6}$
chumbo	$27 \cdot 10^{-6}$

- Nas construções, para evitar acidentes por causa da dilatação térmica dos materiais. Geralmente, essas folgas são preenchidas com material deformável (madeira, piche, etc.).
- Nos trilhos de uma ferrovia, que podem ficar retorcidos caso não se previna a dilatação. A compressão entre os elementos que compõem a via fica tão intensa que acaba por deslocar ou retorcer os trilhos de aço. Para prevenção, também são utilizadas “folgas” entre os trilhos (**figura 1.13**).



Figura 1.13 Folga entre os trilhos para permitir a dilatação térmica sem tensões.

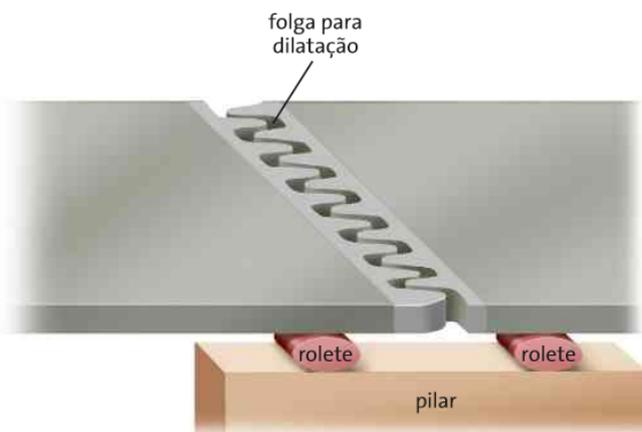


Figura 1.14 Representação (sem escala e em cores fantasia) das juntas de dilatação usadas na construção de pontes, viadutos ou vigas concretadas de grande extensão.

- Em pontes, viadutos ou vigas concretadas de grande extensão, deixam-se os extremos da estrutura apoiados sobre roletes que dão liberdade ao movimento devido à dilatação térmica (**figura 1.14**).

Quando um corpo não é aquecido igualmente, algumas partes dilatam-se mais que outras, provocando tensões e, eventualmente, a ruína da estrutura sólida, como no caso de um copo que se quebra ao receber café muito quente. Aumentar a espessura da parede do copo não resolve, uma vez que isso só faz aumentar as diferenças de temperatura entre as várias partes do vidro. Para diminuir o problema, convém reduzir a espessura

das paredes do copo, o que propicia um aquecimento mais uniforme, com menor possibilidade de ruptura térmica, embora sacrifique a resistência mecânica.

O rompimento de grandes rochas, antes da invenção e do uso da dinamite, era feito por meio do aquecimento irregular em uma dilatação térmica. Fazia-se uma fogueira sobre a rocha, numa pequena região, para provocar o aquecimento localizado. Se isso não fosse suficiente, jogava-se água fria na rocha para aumentar os desníveis de temperatura e os esforços por eles provocados.

Quando queremos apertar ou soltar uma rosca entre materiais diferentes, aquecemos ou resfriamos o conjunto, conforme a relação entre os coeficientes de dilatação, com a intenção de gerar uma folga entre os elementos. Abrimos, assim, com mais facilidade, tampas metálicas de recipientes de vidro, por exemplo.

No aquecimento dos motores de combustão interna, os pistões de alumínio ficam mais justos dentro da camisa de aço, pois o alumínio possui maior coeficiente de dilatação que o aço.

Em estruturas sujeitas a muitas variações térmicas o ideal é usar materiais que tenham o mesmo coeficiente de dilatação. É o caso, por exemplo, do ferro e do concreto, que dilatam-se em conjunto e contraem-se também em conjunto, sem que a dilatação ou contração provoque esforços estruturais. A mesma propriedade é observada entre o amálgama, material que era usado nas obturações dentárias, e o dente (**figura 1.15**).



Figura 1.15 Dente restaurado com amálgama.

Na temperatura θ_0 , a área da chapa é A_0 e, na temperatura θ , a área é A . Experimentalmente, verifica-se que a dilatação térmica superficial ΔA sofrida pela chapa é diretamente proporcional à área inicial da chapa A_0 e à variação da temperatura $\Delta\theta$:

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

Nessa expressão, β é uma constante, denominada **coeficiente de dilatação superficial**, característica do material constituinte do sólido, e obedece à relação:

$$\beta = 2\alpha.$$

A dilatação volumétrica ΔV corresponde à variação do volume de um sólido quando submetido a uma variação de temperatura $\Delta\theta$. Assim, um sólido que apresente volume V_0 , à temperatura θ_0 , e volume V , à temperatura $\theta > \theta_0$, apresenta uma variação de volume ΔV diretamente proporcional ao volume inicial V_0 e à variação de temperatura $\Delta\theta$:

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

Nessa expressão, γ é uma constante, denominada **coeficiente de dilatação volumétrica**, característica do material constituinte do sólido, e que obedece à relação:

$$\gamma = 3\alpha$$

5 Dilatação térmica de líquidos

Enquanto os sólidos possuem forma própria e volume definido, os líquidos têm somente volume definido. Por isso, o estudo da dilatação térmica dos líquidos é feito somente em relação à dilatação volumétrica.

Para se verificar experimentalmente a dilatação de um líquido é preciso colocá-lo dentro de um recipiente. Assim, quando aquecemos o sistema, tanto o líquido como o recipiente se dilatam. Portanto, na dilatação de um líquido, devemos considerar a **dilatação real** do líquido, a **dilatação aparente** do líquido e a **dilatação do recipiente**.

Dilatação real

Assim como nos sólidos, a dilatação volumétrica ΔV de um líquido é diretamente proporcional ao volume inicial do líquido V_0 e à variação de temperatura $\Delta\theta$:

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

Tabela 1.2 Coeficiente de dilatação real de alguns líquidos

Líquidos	γ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
água	$1,3 \cdot 10^{-4}$
mercúrio	$1,8 \cdot 10^{-4}$
glicerina	$4,9 \cdot 10^{-4}$
benzeno	$10,6 \cdot 10^{-4}$
álcool etílico	$11,2 \cdot 10^{-4}$
acetona	$14,9 \cdot 10^{-4}$

Fonte: Kaye & Laby Online. *Tables of Physical & Chemical Constants*. 16. ed. Disponível em: <www.kayelaby.npl.co.uk>. Acesso em: abr. 2016.

Nessa expressão, γ é o coeficiente de dilatação real do líquido (**tabela 1.2**). Os valores se referem a temperaturas próximas de 20°C .

Dilatação aparente

Quando aquecemos o líquido, estamos também aquecendo o recipiente, que se dilata. Assim, a dilatação que medimos na prática é denominada **dilatação aparente**. Para calcular a dilatação real, devemos acrescentar à dilatação aparente a dilatação sofrida pelo frasco. Observe a **figura 1.20**, em que ilustramos um frasco com sua extremidade superior fixa.

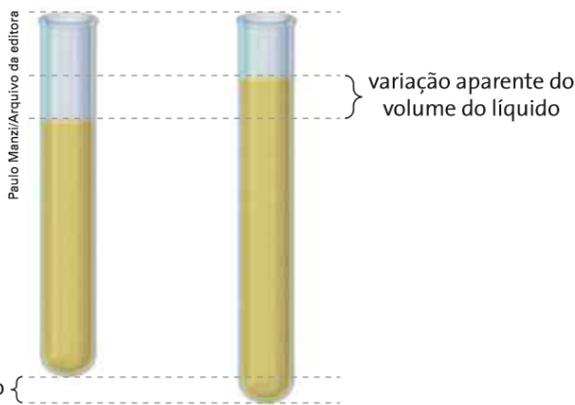


Figura 1.20 Dilatação de um líquido no interior de um recipiente que também se dilata. Representação sem escala e em cores fantasia.

Podemos, então, escrever:

$$\Delta V_{\text{real}} = \Delta V_{\text{aparente}} + \Delta V_{\text{recipiente}}$$

De acordo com a lei da dilatação volumétrica:

$$V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta = V_0 \cdot \gamma_{\text{ap}} \cdot \Delta\theta + V_0 \cdot \gamma_{\text{rec}} \cdot \Delta\theta$$

Após as simplificações, obtemos:

$$\gamma = \gamma_{\text{ap}} + \gamma_{\text{rec}}$$

Dilatação irregular da água

Algumas substâncias, com destaque para a água, apresentam um comportamento irregular em relação às variações térmicas em determinadas faixas de temperatura. No intervalo de temperaturas entre 0 °C e 4 °C, o aumento de temperatura provoca uma contração no volume da água.

Esse fato se deve essencialmente ao tipo de ligação que as partículas apresentam entre si. A água em sua fase sólida possui uma **rede cristalina** com grandes vazios entre as partículas. Esses vazios são tão grandes que podem chegar a conter moléculas de outras substâncias. Como consequência, a fusão do gelo resulta numa redução de volume de cerca de 10%. Inversamente, a solidificação da água acarreta um aumento no volume.

O gelo é, portanto, menos denso que a água e, por essa razão, ele flutua sobre ela. Entretanto, esse comportamento **atípico** não termina com a fusão do gelo, ou seja, 0 °C, sob pressão normal. Mesmo na fase líquida, a água ainda tem resquícios da formação cristalina com espaços vazios, e até a temperatura de 4 °C, a água continua a sua contração, atingindo nessa temperatura seu volume mínimo (a rigor, o volume mínimo da água ocorre à temperatura de 3,982 °C). Alguns físicos denominam essa fase mista de quase cristal.

A partir de 4 °C começa a prevalecer a dilatação térmica, e a água passa então a se comportar como a maioria das substâncias.

Essa “teimosia” que as moléculas de água têm em sua formação espacial deve-se às forças originadas nas pontes de hidrogênio, aliadas à geometria angular que a molécula de água possui. Os gráficos da **figura 1.21** ilustram essa discussão, apresentando, em vez da densidade, o volume ocupado por grama de água, chamado de volume específico, em função da temperatura.

Por que uma garrafa cheia com água, ou qualquer outro líquido com grande quantidade de água em sua composição (refrigerantes, sucos, etc.), colocada no congelador pode quebrar?



You Touch Pix/Shutterstock/Glow Images

Volume específico da água em função da temperatura

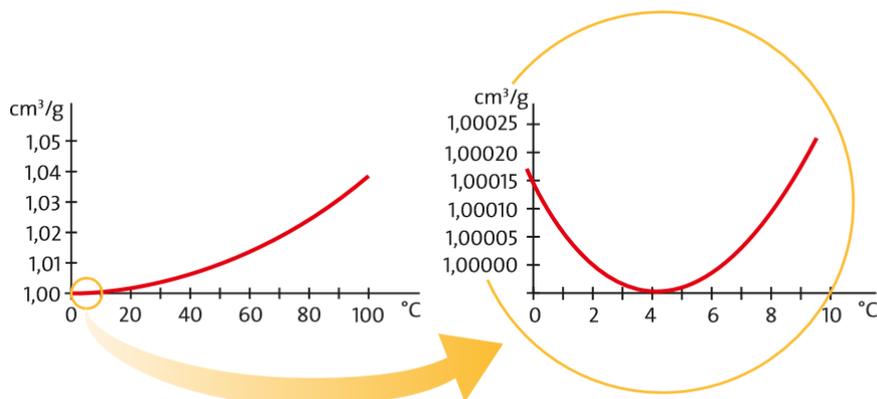


Figura 1.21 Volume de 1 g de água sob pressão atmosférica.

Fonte: TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Física para cientistas e engenheiros*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. (Coleção Física 2. Gravitação, Ondas e Termodinâmica).

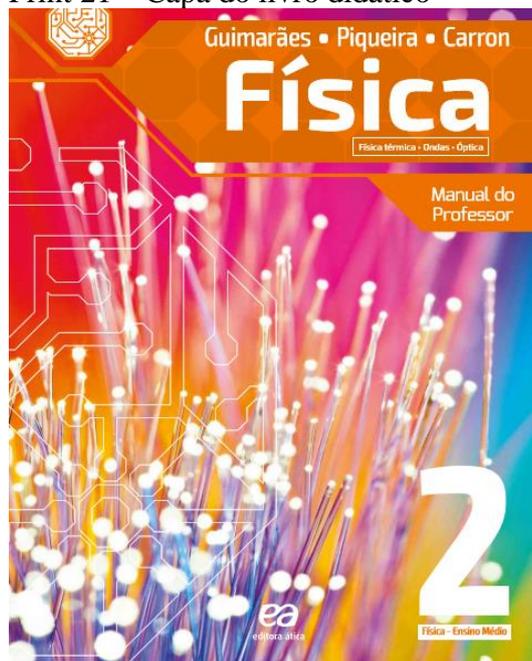
A água na fase líquida e próxima de 0 °C é menos densa do que as porções de água que estão próximas de 4 °C, por isso tende a migrar para a superfície. O resultado é que o lago começa a congelar pela parte de cima. Como o gelo é um mau condutor de calor, a água que está abaixo dele passa a ceder menos calor para o ambiente, garantindo a manutenção da vida aquática até a chegada da primavera.

A água, com esse comportamento atípico, além de manter o clima, também mantém a vida nas regiões frias. Não fosse essa particularidade, a vida em nosso planeta teria se extinguido por completo durante o período de glaciação.

Nosso planeta tem cerca de 75% de sua superfície coberto pela água. Mas mesmo com essa abundância hídrica, existe a possibilidade de falta de água potável na Terra, o que já é um grande problema a ser combatido no século XXI.

Os textos e gravuras usados na 2ª e 3ª Etapa dessa Seqüência Didática sobre Termometria foram retirados do livro didático abaixo.

Print 21 – Capa do livro didático



Fonte: Autor (2020)

Print 22 – Bibliografia do livro didático

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Guimarães, Osvaldo
 Física / Osvaldo Guimarães, José Roberto Piqueira, Wilson Carron. -- 2. ed. -- São Paulo : Ática, 2016.

Obra em 3 v.
 Conteúdo: V.1. Mecânica -- v.2. Física térmica, ondas e óptica -- v.3. Eletromagnetismo e física moderna
 Bibliografia.

1. Física (Ensino médio) I. Piqueira, José Roberto. II. Carron, Wilson. III. Título.

16-02125 CDD-530.07

Índices para catálogo sistemático

1. Física : Ensino médio 530.07

Fonte: Autor (2020)

TERMOMETRIA

5ª Etapa - Prática experimental: Dilatação Térmica Linear dos Sólidos

1 OBJETIVOS

- 1.1 Utilizar o sensor DS18B20, microcontrolador arduino e computador como instrumentos mediadores na aferição de medidas de temperatura;
- 1.2 Utilizar o computador para gerar gráfico que verifique a validade da lei empírica da dilatação térmica dos sólidos;
- 1.3 Utilizar o dilatômetro para medir a variação do comprimento do cobre, ou do alumínio;
- 1.4 Verificar a lei empírica da dilatação térmica linear através do cálculo dos coeficientes de dilatação térmica do cobre, ou do alumínio;

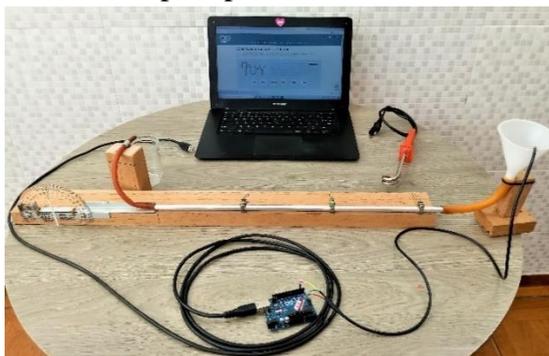
2 MATERIAIS

- 2.1 Sensor DS18B20
- 2.2 Placa arduino
- 2.3 Microcomputador
- 2.4 Ebulidor de água
- 2.5 01 copo de vidro de 120 ml
- 2.6 Recipiente de vidro de 500 ml
- 2.7 Dilatômetro com o tubo de alumínio

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 USO DO DILATÔMETRO DE TRILHOS

Foto 150 – Materiais para prática com Dilatômetro de Trilhos

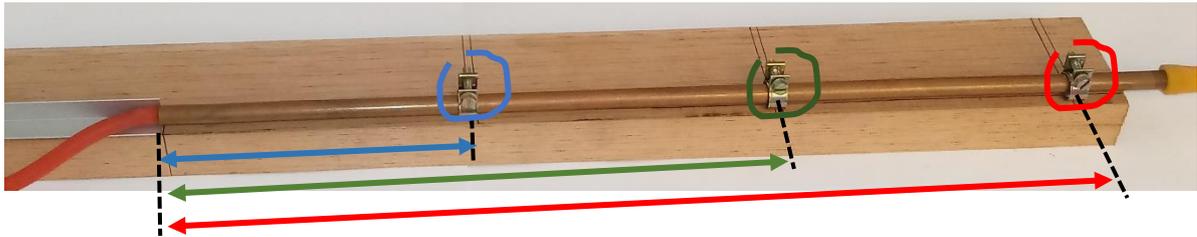


Fonte: Autor (2020)

OBS: O professor deve verificar a montagem do tubo no dilatômetro na parte de “Realização da experiência” na página 48 do Manual de Construção do Dilatômetro Linear.

- Escolhemos um tubo de metal para três procedimentos. Primeiro, devemos fixar o tubo para apenas uma das três medidas: **15 cm**, **30 cm** e **45 cm**, para cada procedimento. Fazemos isso apertando o tubo com o parafuso na abraçadeira que corresponde a distância fixada na base de madeira do dilatômetro.

Foto 151 – Distâncias das abraçadeiras



Fonte: Autor (2020)

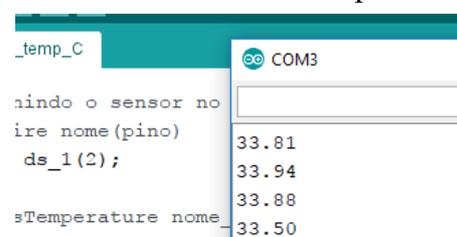
- Serão três procedimentos, consecutivamente, para cada um dos comprimentos iniciais (150, 300 e 450 mm). Colocamos o ponteiro do medidor na marcação de 90° no transferidor antes de introduzir a água quente através do funil (Foto 152). Então medimos e anotamos no tópico 4.1 de RESULTADOS a temperatura inicial do tubo “ T_i ” (Print 23) indicada no computador com a ajuda do sensor de temperatura DSB1820.

Foto 152 – Marcação inicial no transferidor



Fonte: Autor (2020)

Print 23 – Medidas da temperatura



Fonte: Autor (2020)

- Com o ebulidor ligado aquecemos uma porção de água (~400 ml) no recipiente de 500 ml. Quando esta estiver em ~70°C, desligamos o ebulidor, e despejamos a água aquecida, com cuidado do funil do dilatômetro de forma que a água circule pelo tubo, calmamente, por 4 segundos, saindo na outra extremidade e caindo no copo de 120 ml. Anotamos nas tabelas do tópico 4.1 de RESULTADOS os deslocamentos angulares “ n ” visualizados no transferidor do dilatômetro, e, simultaneamente, anotamos a temperatura “ T_f ” mostrada no monitor do computador na área de trabalho do Arduino.

OBS: Neste procedimento o professor deve observar como se faz as leituras de temperatura final lendo o Manual de Construção do Dilatômetro Linear na página 47.

3.2 USO DO DILATÔMETRO DE ALAVANCA

Foto 153 – Materiais para prática com Dilatômetro de Alavanca



Fonte: Autor (2020)

OBS: O professor deve verificar a montagem do tubo no dilatômetro na parte de “Realização da experiência” na página 49 do Manual de Construção do Dilatômetro Linear. A medida na régua milimétrica deve apresentar a dilatação/contração do tubo pela relação matemática da alavanca simples, esta dependerá das medidas do menor braço (a) e do maior braço (A) do dilatômetro. * Ver na pág. 27.

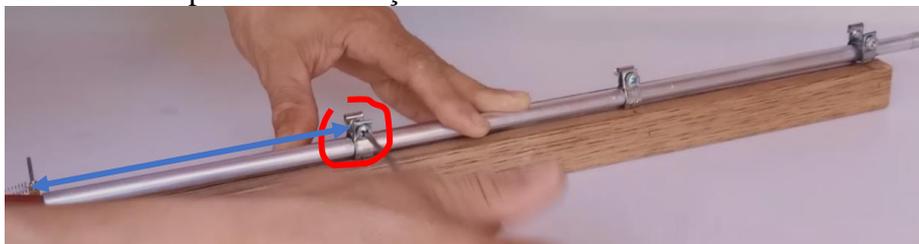
- De maneira semelhante ao dilatômetro de trilhos, neste dilatômetro (de alavanca) devemos fixar o tubo em apenas uma das três medidas, a de 150 mm, depois a de 300 mm, e por último a de 450 mm (na Foto 155, aperta-se com uma chave apropriada a abraçadeira de 150 mm). Antes de fixar o tubo numa das abraçadeiras devemos deslocar um pouco a alavanca com a pequena haste da extremidade do tubo de modo que o ponteiro faça um ângulo de 90° com a base de madeira. Vejamos nas Fotos 154 e 155 abaixo.

Foto 154 – Contato em 90°



Fonte: Autor (2020)

Foto 155 – Apertando a abraçadeira de 150 mm



Fonte: Autor (2020)

- Em seguida, alinhar bem a régua milimétrica com o ponteiro da alavanca. Colocar o sensor de temperatura DSB1820 no interior do tubo na parte mediana do tubo passando pelo funil. Conectar os pinos na placa Arduino, e esta, no computador.
- Daí seguem-se os mesmos procedimentos para obtermos as temperaturas e as dilatações correspondentes.

4 RESULTADOS

Comprovação da Lei Empírica:

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

*Sendo ΔL a variação linear do tubo de metal, L_i o comprimento inicial do tubo, α é o coeficiente de dilatação linear do material do tubo, e ΔT é variação de temperatura.

4.1 Os valores de “ Δn (variação dos angular no transferidor)”, “ ΔB ” (variação dos milímetros na régua) e “ T_F ” verificados no PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL devem ser anotados na tabela a seguir. E os demais valores, “ ΔL ”, “ ΔT ” e “ α ” devem ser calculados de acordo com as equações indicadas abaixo das Tabelas 5, 6 e 7 a seguir.

Para o tubo de _____

Tabela 6 – Anotações para $L_i = 150$ mm

n_i (°) ou B_i (mm)	n_f (°) ou B_f (mm)	Δn (°) ou ΔB (mm)	ΔL (mm)	T_i (°C)	T_f (°C)	ΔT (°C)	α (1/°C)

\downarrow
 de Trilhos: $\Delta L = 0,0157 \cdot \Delta n$
 de Alavanca: $\Delta L = \frac{a}{A} \cdot \Delta B$

\downarrow
 $\alpha = \frac{\Delta L}{L_i \cdot \Delta T}$

Fonte: Autor (2020)

Tabela 7 – Anotações para $L_i = 300$ mm

n_i (°) ou B_i (mm)	n_f (°) ou B_f (mm)	Δn (°) ou ΔB (mm)	ΔL (mm)	T_i (°C)	T_f (°C)	ΔT (°C)	α (1/°C)

\downarrow
 de Trilhos: $\Delta L = 0,0157 \cdot \Delta n$
 de Alavanca: $\Delta L = \frac{a}{A} \cdot \Delta B$

\downarrow
 $\alpha = \frac{\Delta L}{L_i \cdot \Delta T}$

Fonte: Autor (2020)

Tabela 8 – Anotações para $L_i = 450$ mm

n_i (°) ou B_i (mm)	n_f (°) ou B_f (mm)	Δn (°) ou ΔB (mm)	ΔL (mm)	T_i (°C)	T_f (°C)	ΔT (°C)	α (1/°C)

\downarrow
 de Trilhos: $\Delta L = 0,0157 \cdot \Delta n$
 de Alavanca: $\Delta L = \frac{a}{A} \cdot \Delta B$

\downarrow
 $\alpha = \frac{\Delta L}{L_i \cdot \Delta T}$

Fonte: Autor (2020)

* ΔL , ΔT e α devem ser calculados de acordo com as igualdades acima;

* “a” e “A” são, respectivamente, as medidas dos braços “menor”, e “maior”, da alavanca.

4.2 Na sequência, com auxílio do professor, utilizar um computador e através do Microsoft Excel, ou outro programa compatível, gerar três gráficos de $\Delta L \times \Delta T$, um gráfico para cada uma das tabelas anteriores.

OBS: o professor pode escolher de acordo com sua preferência, e experiência, um programa que realize a construção do gráfico $\Delta L \times \Delta T$. Caso não tenha experiência com nenhum programa do tipo, recomendamos que leia e siga as instruções de como construir este gráfico através do Microsoft Excel, seguindo a leitura do nosso “Manual de Construção do Dilatômetro Linear”, na página 47 até 50.

5 QUESTIONÁRIO

5.1 Na sua opinião, a lei empírica da dilatação linear dada por: $\Delta L = L_i \cdot \alpha \cdot \Delta T$, pôde ser comprovada no experimento? Você pode justificar-se.

R- _____

5.2 Na proporção em que o comprimento inicial do tubo L_i aumenta nas três tabelas o que acontece com a dilatação linear ΔL do tubo?

R- _____

5.3 Nos três experimentos qual das medidas tabeladas, praticamente, permanece constante?

R- _____

5.4 O que significa esse valor constante encontrado nas três tabelas?

R- _____

5.5 Com o tipo de comportamento mostrado nos gráficos $\Delta L \times \Delta T$ no computador, podemos afirmar que o dilatômetro pode funcionar como um termômetro. Por que isso é possível?

R- _____

5.6 O fenômeno da dilatação linear do tubo vai permanecer para qualquer valor de temperatura?

R- _____

TERMOMETRIA

6ª Etapa – Prática experimental: Dilatação Volumétrica dos Líquidos

1 OBJETIVOS

- 1.1 Utilizar o sensor de temperatura e o arduino como objeto de mediação nas medidas de temperatura;
- 1.2 Verificar a dilatação volumétrica dos líquidos;
- 1.3 Calibrar um termômetro na escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$) utilizando uma régua milimétrica;
- 1.4 *Opcional - construir um termômetro de álcool com materiais de fácil aquisição.

2 MATERIAIS

Foto 156 – Materiais para prática da dilatação volumétrica



Fonte: Autor (2020)

- 2.1 Sensor DS18B20
- 2.2 Placa arduino
- 2.3 Microcomputador
- 2.4 Ebulidor de água
- 2.5 Copo de vidro de 120 ml
- 2.6 Recipiente de vidro de 500 ml
- 2.7 Termômetros de álcool

OBS:

- O tutorial para a construção do termômetro a álcool se encontra no Apêndice deste Roteiro de Prática. Tanto o professor como o estudante podem fazer este tipo de termômetro.
- Caso não queira construir o termômetro de álcool usa-se um termômetro comum de mercúrio e uma régua milimétrica.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Calibrando o termômetro

- Colocamos água com gelo no copo de 120 ml e mergulhamos o bulbo do termômetro com o sensor de temperatura até que ambos atinjam o equilíbrio térmico.
- Marcamos a altura coluna de álcool através dos milímetros da régua.
- Despejamos fora a água gelada, depois colocamos água quente no copo. Esta água é proveniente do recipiente de 500 ml, aquecida com a ajuda do ebulidor.
- Novamente, mergulhamos o bulbo do termômetro e o sensor de temperatura na água, agora quente, até atingirem o equilíbrio térmico.
- Fazemos uma nova marcação na coluna de álcool através da régua.

Vejamos um exemplo que é o resultado destes procedimentos na Foto 157 logo abaixo.

Foto 157 – Termômetro com os pontos marcados numa prática



Fonte: Autor (2020)

4 RESULTADOS

Temperatura da água gelada

Altura da coluna de álcool na régua

T = °C



h = mm

Temperatura da água quente

Altura da coluna de álcool

T = °C



h = mm

Feito as marcações de maneira correta, o que resta agora é só realizarmos um cálculo de proporção direta, ou seja, uma regra de três simples para sabermos quantos graus Celsius equivalem 1 mm (um milímetro) na régua milimétrica.

T - °C água gelada	=	h - mm água gelada	
°C água quente - °C água gelada		mm água quente - mm água gelada	

Espaço para Cálculo:

Finalmente temos a equação de relação Temperatura (**T**) e Altura de Álcool (**h**) → **T = f (h)**

T = a x h - b ➡ **T =** **x h -**

Após marcarmos estes dois pontos no termômetro, marcar as demais temperaturas obedecendo a equação que relaciona as alturas da coluna de álcool com as temperaturas. A Foto 158 traz outro exemplo de como ficará o termômetro já calibrado.

Foto 158 – Termômetro a álcool calibrado



Fonte: Autor (2020)

5 QUESTIONÁRIO

5.1 Pesquise nas tabelas 1.1 e 1.2 do texto da 4ª Etapa da Sequência Didática e verifique se, além do álcool etílico, o vidro se dilata também.

Qual desses dois materiais se dilata mais? Este fato interfere na leitura da temperatura do nosso termômetro construído?

5.2 O que deveríamos fazer para que nosso termômetro ficasse bem mais eficiente? Em outras palavras, próximo do termômetro industrializado.

Referências

BEN-DOV, Yoav; **Convite à Física**; tradução: Maria Luiza X. de A. Borges; revisão técnica: Henrique Lins de Barros; Rio de Janeiro - Ed. Jorge Zahar; 1996

BRASIL; **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio – Parte I – Bases Legais**; Brasília, MEC/SEMTEC, 2000; <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>; em 02/07/2018

BRASIL; **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio – Parte III – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**; Brasília, MEC/SEMTEC, 2000; <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>; em 02/07/2018

BRASIL; **PCN⁺ Ensino Médio - Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**; disponível em http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf; em 28/09/2019

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. **PCN⁺ Ensino Médio - Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**, 2002; disponível em <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>; em 02/07/2018

CARVALHAIS, Luciano Gomes; **A ASCENÇÃO E QUEDA DA TEORIA DO CALÓRICO****; Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, n. 3: p. 1030-1073, dez. 2012; disponível em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29n3p1030>; em 12/2020

CARVALHO, Maria Vilani Cosme; MATOS, Kelma Socorro Lopes; **Psicologia da Educação: Teorias do desenvolvimento e da aprendizagem em discussão**; Fortaleza; Ed. UECE, 2015

FERREIRA, Fábio Barroso; **Ensinando Dilatação Térmica Linear dos Sólidos no Ensino Médio**; disponível em <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/2924>; em 12/2020

KITEEL, Charles; **Introduction to Solid State Physics**; 8ª Edição; John Wiley & Sons; Danvers MA, 2005

MCROBERT, M; **Arduino básico**; tradução Rafael Zanoli; São Paulo – Novatec, 2011

MADEIRA, Daniel; DS18B20 – **Sensor de temperatura inteligente**; disponível em <https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-temperatura-ds18b20/>; em 06/06/2019

PIRES, Denise Prazeres Lopes; Júlio Carlos Afonso; Francisco Artur Braun Chaves; **A termometria nos séculos XIX e XX**; Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 1, p. 101 - 114, 2006; disponível em http://sbfisica.org.br/rbef/pdf/v28_101.pdf; em 12/2020

RESNICK, Robert; David Halliday; Kenneth S. Krane; **Física 2**; 4ª Edição; Editora LTC; Rio de Janeiro-RJ; 1996

BORGES, Antônio Tarciso; **Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências**; Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, n.3: p.291-313; dez. 2002; disponível em http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf; em 15/10/2020

SALIM, Hélio do Amorim, Marco Adriano Dias, Vitorvani Soares; **Sensores digitais de temperatura com tecnologia one-wire: Um exemplo de aplicação didática na área de condução térmica**; Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4, 4310; 2015; disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v37n4/0102-4744-rbef-37-4-4310.pdf>; em 12/2020

VIGOTSKY, Lev Semenovich; **A construção do pensamento e da linguagem**; tradução: Paulo Bezerra – São Paulo; Martins Fontes, 2000

APÊNDICE A - Construção do termômetro a álcool

Nesta parte fica reservado o passo a passo da montagem de um termômetro a álcool com materiais e ferramentas acessíveis a uma pessoa comum. Um termômetro como este foi utilizado na última Prática Experimental da nossa Sequência Didática. Tanto o professor como o estudante podem construir este instrumento dependendo da disposição de ambos.

No final deste apêndice disponibilizaremos um link com endereço eletrônico, através da internet, sendo acessível a visualização dos vídeos que mostram a montagem passo-a-passo do termômetro a álcool.

Ferramentas necessárias:

Foto 159 – Instrumentos para termômetro

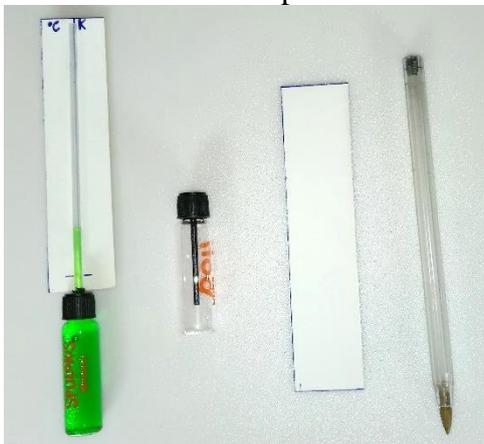


- 1-Régua milimétrica;
- 2-Algodão;
- 3-Seringa de 5 ml;
- 4-Agulha para seringa;
- 5-Pequena tesoura de aço;
- 6-Arame de aço ~17cm;
- 7-Corante artificial;
- 8-Cola instantânea;
- 9-Álcool do posto (etanol)

Fonte: Autor (2020)

Materiais:

Foto 160 – Materiais para termômetro



- 1-Recipiente de vidro para amostra de perfume (4 ml);
- 2-Tubo interno (vazio) de caneta esferográfica;
- 3-Papel duro (17 cm x 5 cm)

Fonte: Autor (2020)

Procedimentos de montagem

- ❖ Fazemos a limpeza da parte interna do tubo da caneta com algodão, o arame, álcool, um lenço, e a seringa com agulha.

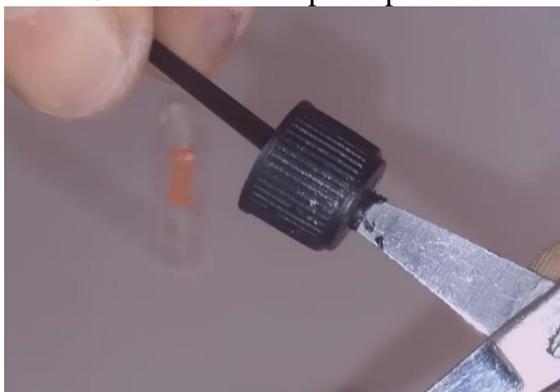
Foto 161 – Limpeza do tubo da caneta



Fonte: Autor (2020)

- ❖ Furar a tampa de plástico do recipiente com a ajuda da pequena tesoura de aço. Com cuidado, sempre girando a ponta da tesoura, até que tenhamos um furo onde o tubo da caneta entre bem apertado. Em seguida, conectamos o tubo!

Foto 162 – Furo da tampa de plástico



Fonte: Autor (2020)

Foto 163 – Tubo conectado na tampa



Fonte: Autor (2020)

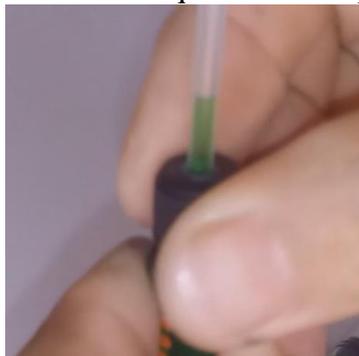
- ❖ Adicionar o álcool misturado com o corante no recipiente de vidro. Depois rosqueamos a tampa com o tubo no recipiente, e em seguida, adicionamos o álcool com corante no tubo com a ajuda da seringa e agulha. Para que o álcool desça no tubo são necessários alguns toques no tubo para o escoamento do álcool para a parte inferior. Vejamos as Fotos 164, 165 e 1666 a seguir.

Foto 164 – Álcool no recipiente



Fonte: Autor (2020)

Foto 165 – Rosqueando a tampa



Fonte: Autor (2020)

Foto 166 – álcool no tubo



Fonte: Autor (2020)

❖ O papel duro deve ser colado com a cola instantânea no tubo de caneta.

Foto 167 – Cola no papel



Fonte: Autor (2020)

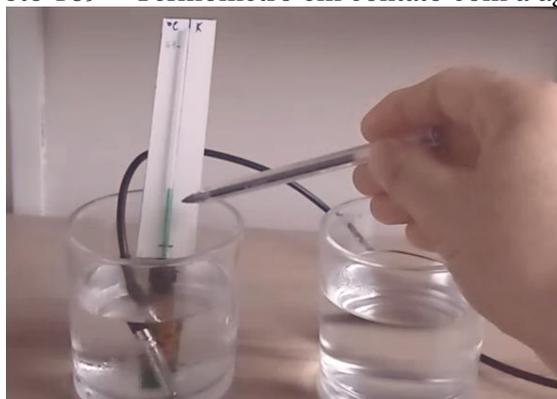
Foto 168 – Colando o papel no tubo



Fonte: Autor (2020)

❖ Para calibrar o nosso termômetro a álcool utilizaremos o sensor de temperatura DS18B20 ligado a placa Arduino UNO, e esta, conectada a um computador. Utilizamos dois copos, um copo com água quente, e o outro com água gelada. Quando o termômetro entrar em equilíbrio térmico, consecutivamente, com a água dos dois copos, então podemos marcar no papel e temperatura e medir com uma régua milimétrica as alturas das colunas de álcool correspondentes às duas temperaturas. Vejamos as Fotos 169 e 170 abaixo.

Foto 169 – Termômetro em contato com a água



Fonte: Autor (2020)

Foto 170 – Marcação da temperatura/coluna



Fonte: Autor (2020)

❖ Após as marcações das duas temperaturas nas respectivas colunas de álcool fazemos um cálculo com regra de três simples para obtenção da equação linear (1º grau). Com esta equação podemos calcular todas as alturas correspondentes às suas temperaturas, com isto, podemos anotar as temperaturas no papel. Por exemplo, nos Prints 24, 25 e 26 temos respectivamente, os pontos fixos, a equação linear, e os valores para as anotações no nosso termômetro.

Print 24 – Pontos fixos

Pontos Fixos

18°C — 7 mm

64°C — 99 mm

Fonte: Autor (2020)

Print 25 – Equação de relação

$$\frac{T - 18^\circ}{64^\circ - 18^\circ} = \frac{h - 7}{99 - 7}$$

$$\frac{T - 18^\circ}{46^\circ} = \frac{h - 7}{92}$$

$$92 \times (T - 18^\circ) = 46 \times (h - 7)$$

• • $T = 0,5 \times h + 14,5^\circ$

Fonte: Autor (2020)

Print 26 – Valores a marcar

Valores para marcar...

T (°C)	h (mm)
14,5	0 → mínima
20,0	11
30,0	31
40,0	51
50,0	71
60,0	91
70,0	111 → máxima

Fonte: Autor (2020)

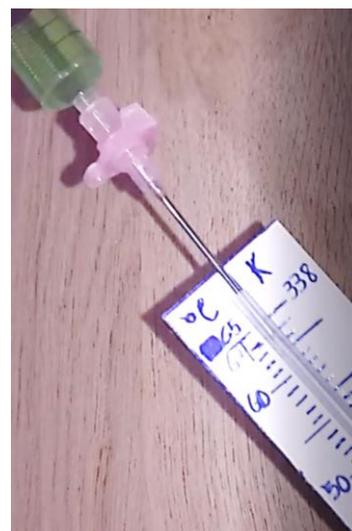
❖ Depois de anotar as temperaturas no papel com ajuda de uma régua, o termômetro estará terminado (Foto 174). Ele pode ser usado no ar ambiente e em líquidos. Depois de dois dias, dependendo da temperatura e umidade do ar, uma parte da coluna do álcool evapora, sendo assim, sempre devemos calibrar este termômetro adicionando o volume de álcool que evaporou (Foto 175).

Foto 171 – Termômetro com escalas °C e K



Fonte: Autor (2020)

Foto 172 – Adicionando álcool



Fonte: Autor (2020)

Link para Pasta do Google Drive com vídeos para montagem:

<https://drive.google.com/drive/folders/11Hbdp8fcvDGHe9GP6CpNLSQPUtSysIIC?usp=sharing>