



PHYSICÆ ORGANUM

2020

VOL. 6

O Teleparalelismo como uma Teoria de Gauge para a Gravitação

LUIGI LUCAS DE CARVALHO SILVA, VANESSA CARVALHO DE ANDRADE

Usando smartphones para medir a variação do índice de refração da gasolina com diferentes concentrações de etanol

YURI ALEXANDRE MEYER, JOSÉ GERALDO PENA DE ANDRADE, EDIVALDO LUIS DE SOUZA,
BEATRIZ FUGAGNOLLI GIACON, ENRICO FRANÇA MORAES, ENZO GAVA,
GABRIELA AMADIO, THEODOR ERIK KEMPTER, VITÓRIA LUIZ DIOTTO

Uma sequência didática de física: leis da termodinâmica, máquinas térmicas e máquinas frigoríficas

FÁBIO LOMBARDO EVANGELISTA

Sugestões de experimentos de fácil acesso para o ensino de termodinâmica

EDIVANIA SOUSA BISPO, CLÓVES GONÇALVES RODRIGUES

Olavo Leopoldino da Silva Filho

Editor Gerente

Marcello Ferreira

Editor Associado

Palton Lima Alves

Editor Júnior

Leonardo Luiz e Castro

Editor Associado

Fábio Luís de Oliveira Paula

Conselheiro Editorial

Nota editorial

A presente edição teve sua composição final realizada posteriormente à sua publicação original, com o objetivo de padronização editorial e atribuição de identificadores digitais (DOIs) aos artigos. Esse processo não alterou o conteúdo dos trabalhos originalmente publicados.

A equipe desta edição foi composta por Olavo Leopoldino da Silva Filho como editor gerente, Marcello Ferreira e Leonardo Luiz e Castro como editores associados, Palton Lima Alves como editor júnior, e Fábio Luís de Oliveira Paula como conselheiro editorial.

A equipe editorial agradece à Biblioteca Central da Universidade de Brasília (BCE/UnB) pelo apoio na configuração e no registro dos DOIs da revista, especialmente à bibliotecária Luísa Chaves Café.

— Leonardo Luiz e Castro, responsável pela composição final, 2026

Editorial Note

This issue had its final composition prepared after its original publication, with the aim of editorial standardization and the assignment of digital object identifiers (DOIs) to the articles. This process did not alter the content of the originally published works.

The editorial team for this issue consisted of Olavo Leopoldino da Silva Filho (Managing Editor), Marcello Ferreira and Leonardo Luiz e Castro (Associate Editors), Palton Lima Alves (Junior Editor), and Fábio Luís de Oliveira Paula (Editorial Advisor).

The editorial team thanks the Central Library of the University of Brasília (BCE/UnB), especially librarian Luísa Chaves Café, for their support in configuring and registering the journal's DOIs.

— Leonardo Luiz e Castro, responsible for the final composition, 2026

Apresentação

Apresentamos mais um número da Revista *Physicae Organum*. Devido à pandemia, não foi possível publicar o número anterior, mas retomamos nossas atividades visando nossa missão de funcionar como uma revista pedagógica para professores e alunos do ensino superior e médio. O número conta com trabalhos muito interessantes e variados, apresentando deste o tema da Gravitação, como a medida do índice de refração (Óptica), passando pelo ensino do funcionamento de máquinas térmicas (Termodinâmica). Esperamos que os artigos possam ser valiosos para nossos leitores.

Os Editores.

Sumário

1	O Teleparalelismo como uma Teoria de Gauge para a Gravitação	1
2	Usando smartphones para medir a variação do índice de refração da gasolina com diferentes concentrações de etanol	24
3	Uma sequência didática de física	38
4	Sugestões de experimentos de fácil acesso para o ensino de termodinâmica	89



O Teleparalelismo como uma Teoria de *Gauge* para a Gravitação

Teleparallelism as a Gauge Theory for Gravitation

LUIGI LUCAS DE CARVALHO SILVA¹, VANESSA CARVALHO DE ANDRADE²

^{1,2}Instituto de Física - Universidade de Brasília

Resumo

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma teoria de gravitação cujo formalismo seja análogo aos das demais interações fundamentais, as quais são descritas por teorias de gauge, ou teorias de calibre. A teoria apresentada é também análoga à relatividade geral em níveis clássicos. Define-se, inicialmente, as teorias de gauge. O eletromagnetismo é apresentado como um exemplo dessa classe de teorias. Define-se as lagrangianas de Dirac e Maxwell, e por meio do requisito de que elas sejam invariantes por transformações de gauge locais, um termo de acoplamento é acrescentado à soma das lagrangianas, levando à obtenção da lagrangiana correta para a eletrodinâmica quântica. Em seguida, as equações associadas à teoria de Yang-Mills, uma teoria de gauge para grupos especiais unitários de ordem n , são então apresentadas. Após isso, são apresentados os fundamentos do teleparalelismo, e essa teoria é então descrita como uma teoria de gauge para o grupo de translação, sendo os potenciais de gauge do modelo associados à gravitação. O papel das tetradas e da torção na descrição da gravitação é então discutida, bem como seus significados geométricos. A lagrangiana do teleparalelismo, quadrática na torção, é então apresentada, e duas aplicações são desenvolvidas: uma partícula sob a ação de um campo gravitacional e a questão da densidade de energia-momento do campo gravitacional são apresentadas sob o ponto de vista da gravitação teleparalela. Conclui-se que o teleparalelismo, além de abranger os fenômenos clássicos já tratados pela relatividade geral, vai além e propicia novas descrições, como a definição de um tensor de energia-momento de espaço-tempo e de gauge verdadeiro para o campo gravitacional.

Palavras-chave: Teleparalelismo. Gauge. Yang-Mills. Unificação.

Abstract

The objective of the present work is to present a theory of gravitation whose formalism is analogous to the other fundamental interactions, which are described by gauge theories. The theory presented is also analogous to general relativity in classical levels. Initially, gauge theories are defined. Electromagnetism is presented as an example of this class of theories. The Dirac and Maxwell lagrangians are defined, and making them invariant by local gauge transformations leads to

the sum of a coupling term, which leads to the obtaining of the correct lagrangian for the quantum electrodynamics. Then, the equations associated to the Yang-Mills theory, a gauge theory for special unitary groups of order n , are then presented. After this, the fundamentals of teleparallelism are discussed, which is presented as a gauge theory for the translation group, with the gauge potentials of the model being associated to gravitation. The role of the tetrads and torsion in the description of gravitation is discussed, as well as their geometrical meanings. The teleparallel lagrangian, quadratic in torsion, is then presented, and two applications are explained: a particle under the action of a gravitational field and the question of the energy-momentum density of the gravitational field are presented from the point of view of teleparallel gravity. It follows that teleparallelism, in addition to covering the classical phenomena already treated by general relativity, goes beyond and provides new descriptions, as the definition of a real spacetime and gauge energy-momentum tensor for the gravitational field.

Keywords: Teleparallelism. Gauge. Yang-Mills. Unification.

I. INTRODUÇÃO

Até o século XX, ainda eram predominantes as ideias de espaço e tempo absolutos e indeformáveis advindas da mecânica newtoniana. Vários cientistas e matemáticos, como James Clerk Maxwell, Hendrik Lorentz, Hermann Minkowski, Bernhard Riemann, dentre inúmeros outros, introduziram, ao longo do século XIX e início do século XX, os questionamentos e ferramentas necessárias para uma superação dessas ideias, rumo a uma teoria de maior abrangência e domínio de validade. Todo esse processo culminou, em 1915, na publicação da teoria da relatividade geral por Albert Einstein, a qual motivou diversas pesquisas, e foi estudada e explorada por vários cientistas ao longo das décadas seguintes.

Ao longo de toda a história da física também é muito presente a ideia de unificação. Newton, por exemplo, conseguiu relacionar a gravitação na terra com o movimento dos corpos celestes. Outro exemplo de unificação refere-se aos fenômenos óticos, cujas leis começaram a ser obtidas já no século XVII, porém só foram associados ao eletromagnetismo no século XIX.

No entanto, os anseios em unificar a relatividade geral com as demais interações físicas levou à identificação de diversos problemas. Como exemplos, temos o fato de a teoria da relatividade geral ser não renormalizável, e também o fato de que o espaço-tempo na relatividade geral está intimamente ligado à dinâmica das distribuições de massa e energia, o que não ocorre nas demais interações, onde o espaço-tempo aparece como um “plano de fundo” sobre a qual a dinâmica dos objetos é determinada (BOSSO, 2017) (BURGESS, 2003). Esses problemas levaram diversos cientistas a buscar uma teoria de gravitação que englobasse os resultados bem sucedidos da relatividade geral, mas que também apontasse para uma possível compatibilização com as demais teorias.

Nesse contexto, Hermann Weyl fez uma tentativa, em 1918, de unificar a relatividade geral e o eletromagnetismo (PEREIRA; ALDROVANDI, 2010, p. i). Embora não tenha sido bem sucedido, ele introduziu os conceitos de transformação de *gauge* e invariância de *gauge*. A introdução desses conceitos no contexto das teorias de gravitação foi muito

importante, dado que as demais teorias físicas “fundamentais”, como o eletromagnetismo e, posteriormente, a eletrodinâmica quântica e o modelo padrão, são teorias de *gauge*. Essas teorias também são chamadas de teorias de calibre. No presente trabalho, a denominação mais utilizada será teorias de *gauge*.

Einstein também fez uma tentativa nesse sentido cerca de dez anos depois. A ideia era definir um sistema de coordenadas local a partir de quatro vetores ortogonais (tetradas), de modo que o conceito de “paralelismo distante” pudesse ser definido. Vetores com coordenadas locais iguais seriam ditos paralelos (UNZICKER; CASE, 2005, p. 1–3). Surge, então, o conceito de teleparalelismo. As tetradas têm 16 componentes, enquanto que o campo gravitacional, representado pela métrica do espaço tempo, tem apenas dez componentes. A ideia é que esses seis graus de liberdade a mais pudessem estar relacionados com as seis componentes do campo eletromagnético. Essa tentativa, no entanto, falhou, pois os graus de liberdade a mais eram eliminados pela invariância de Lorentz local da teoria (PEREIRA; ALDROVANDI, 2010, p. i).

Essas duas tentativas, no entanto, abriram portas para o desenvolvimento da gravitação teleparalela como uma teoria de *gauge* para a gravitação. Ao longo das décadas seguintes, outros cientistas, como Møller, Pellegrini e Plebanski, Hayashi e Nakano (ANDRADE; PEREIRA, 1997a), Maluf, Rocha-Neto e Ulhoa (MALUF; ROCHA-NETO; ULHOA, 2015) (MALUF; ROCHA-NETO, 2001), voltaram a estudar essas ideias, e diversas novas contribuições foram realizadas, culminando na gravitação teleparalela atual. Essa teoria alternativa, apesar de equivalente à relatividade geral, exibe um formalismo análogo à teoria de Yang-Mills, que é utilizada para descrever as demais interações fundamentais. Além disso, ela aponta para a solução de alguns problemas da relatividade geral, como a questão da definição da densidade de energia-momento do campo gravitacional.

Houve, além das tentativas descritas acima, diversas outras, como a teoria de Kaluza-Klein (KALUZA, 1921), que estendeu a relatividade geral para um espaço-tempo de cinco dimensões, com foco em unificar a gravitação e o eletromagnetismo. Outros exemplos são a teoria de supercordas (SCHWARZ; SEIBERG, 1998), a teoria M (DUFF, 1996) e a teoria de gravitação em loop (ROVELLI, 1997).

Nesse trabalho, serão apresentados os conceitos associados às teorias de *gauge*, utilizando o exemplo do eletromagnetismo, bem como o caso geral da teoria de Yang-Mills. Em seguida, o teleparalelismo será apresentado como uma teoria de *gauge* para a gravitação e serão discutidas duas aplicações nesse contexto, o de uma partícula massiva em um campo gravitacional e o da densidade de energia-momento desse campo. Essas aplicações visam demonstrar tanto a capacidade do teleparalelismo de tratar os fenômenos já resolvidos no contexto a relatividade geral, quanto a de ir além e apresentar novas descrições físicas.

II. UM PANORAMA GERAL DAS TEORIAS DE GAUGE

Na física, uma teoria de *gauge*, ou teoria de calibre, é uma teoria de campo cuja Lagrangiana é invariante sob um grupo contínuo de transformações locais. Esse é um grupo de Lie, e a cada gerador do grupo está associado um campo vetorial, o campo de calibre, que é incluído na Lagrangiana para que esta permaneça invariante sob transformações locais do grupo (BATTERMAN, 2013, p. 395).

O nome “calibre” vem de um fato histórico. Hermann Weyl buscava, no início do século XX, obter o eletromagnetismo a partir de uma simetria do espaço-tempo, que seria relacionada à invariância local sob mudanças da escala de comprimento. Apesar de ter falhado em sua tentativa, algum tempo depois ele conseguiu encontrar a simetria correta para derivar o eletromagnetismo, porém o nome permaneceu (SCHWICHTENBERG, 2018, p. 133).

As teorias de *gauge* que descrevem as interações eletromagnética, eletrofraca e forte estão associadas com transformações que ocorrem em espaços “internos”, que não tem relação direta com o espaço-tempo. Em cada ponto do espaço-tempo, tem-se diferentes transformações no espaço interno (PEREIRA; ALDROVANDI, 2013, p. 25).

A estrutura matemática que engloba os aspectos geométricos desse tipo de teoria é chamada de *fiber bundle* (“maço de fibras”). Para se ter uma noção do que seria um *fiber bundle*, será utilizado o exemplo de um elétron percorrendo um caminho ao longo do espaço. Na mecânica quântica, aparecem fatores de fase nas soluções da equação de Schrödinger, do tipo $e^{i\theta(\vec{x},t)}$, onde $\theta(\vec{x},t)$ é uma determinada função do tempo e espaço. Elas são números complexos de módulo unitário. Podemos, então, encará-las como pontos em um círculo unitário.

A função de onda associada a um elétron pode ser escrita como

$$\Psi(\vec{x},t) = |\Psi(\vec{x},t)|e^{i\theta(\vec{x},t)}, \quad (1)$$

ou seja, ela possui uma determinada fase para cada ponto \vec{x} e para cada instante t . Cada uma dessas fases pode ser representada como um ponto no círculo unitário (JAKOB, 2018).

Assim, conforme o elétron se move no espaço, ele também percorre uma trajetória em seu “espaço interno”, associado à sua fase. Pode-se pensar em “grudar”, em cada ponto do espaço, uma cópia do círculo unitário, e em cada um desses pontos “marcar”, nesse círculo, o ponto correspondente à fase do elétron. Isso é ilustrado na figura a seguir:

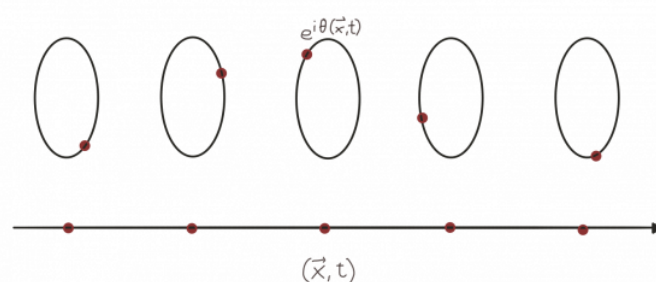


Figura 1: Representação de um elétron se movendo pelo espaço. Ao se mover, ele também muda a sua fase. (JAKOB, 2018)

Representando esses círculos por linhas, como pontos iniciais e finais identificados, tem-se a estrutura pictórica de um “fibrado”. Nessa figura, a parte inferior é o espaço onde o elétron efetivamente se move, e a parte superior é o espaço interno, que é o que se chama de *fiber bundle*.

A ferramenta que permite dizer qual a trajetória seguida no espaço interno é chamada de conexão, e na física ela corresponde a um campo de calibre (JAKOB, 2018).

III. O ELETROMAGNETISMO COMO UM EXEMPLO

A lagrangiana de Dirac, da qual se obtém as equações de movimento para partículas e campos de spin $\frac{1}{2}$ (um exemplo é o elétron), pode ser escrita da seguinte forma (SCHWICHTENBERG, 2018, p. 27)

$$\mathcal{L}_{\text{Dirac}} = -m\bar{\Psi}\Psi + i\bar{\Psi}\gamma_{\mu}\partial^{\mu}\Psi = \bar{\Psi}(i\gamma_{\mu}\partial^{\mu} - m)\Psi, \quad (2)$$

onde m é a massa, Ψ é um espinor de Dirac, γ_{μ} é uma matriz dada por

$$\gamma_{\mu} = \begin{pmatrix} 0 & \bar{\sigma}_{\mu} \\ \sigma_{\mu} & 0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

onde σ_{μ} são as matrizes de Pauli,

$$\bar{\sigma}_0 = \sigma_0 = I_{2 \times 2}, \quad (4)$$

sendo $I_{2 \times 2}$ a identidade, e

$$\bar{\sigma}_i = -\sigma_i. \quad (5)$$

As matrizes com índices superiores podem ser obtidas a partir da métrica de Minkowski, $\eta_{\mu\nu}$,

$$\gamma_{\mu} = \eta_{\mu\nu}\gamma^{\nu}, \quad (6)$$

tendo em mente que

$$\eta_{\mu\nu}\sigma^{\nu} = \bar{\sigma}_{\mu}. \quad (7)$$

Por último, os $\bar{\Psi}$ estão associados com os Ψ por

$$\bar{\Psi} \equiv (\Psi)^{\dagger}\gamma_0. \quad (8)$$

A equação permanece a mesma se o campo for transformado como

$$\Psi' = e^{ia}\Psi, \quad (9)$$

onde a é um número real qualquer. Isso pode ser facilmente verificado substituindo-se Ψ por $e^{ia}\Psi$ e $\bar{\Psi}$ por $\bar{\Psi}e^{-ia}$ na lagrangiana, pois

$$\bar{\Psi}' = \Psi'^{\dagger}\gamma_0 = (e^{ia}\Psi)^{\dagger}\gamma_0 = \bar{\Psi}e^{-ia}. \quad (10)$$

Todos os números complexos de módulo unitário podem ser escritos na forma e^{ia} e formam o grupo chamado $U(1)$ (“ U ” vem de unitário). Assim, podemos dizer que a lagrangiana é invariante sob a ação desse grupo. O tipo de transformação exibida acima é chamada de transformação global, pois o termo e^{ia} é o mesmo, independente da posição no espaço-tempo, ou seja, o campo é multiplicado em cada ponto pelo mesmo fator. Mas a escolha desse fator em um ponto não deveria, *a priori*, determiná-lo nos demais pontos.

Pode-se verificar, então, se a lagrangiana permanece invariante mesmo que a transformação seja local. Para isso, o fator e^{ia} passará a depender do ponto, ou seja, $e^{ia(x)}$. Se agora for

feita a substituição Ψ por $e^{ia(x)}\Psi$ e $\bar{\Psi}$ por $\bar{\Psi}e^{-ia(x)}$, a lagrangiana transformada fica

$$\mathcal{L}'_{\text{Dirac}} = -m\bar{\Psi}\Psi + i\bar{\Psi}\gamma_{\mu}\partial^{\mu}\Psi + i^2(\partial^{\mu}a(x))\bar{\Psi}\gamma_{\mu}\Psi \neq \mathcal{L}_{\text{Dirac}}, \quad (11)$$

ou seja, a lagrangiana não é mais invariante sob uma ação local do grupo U(1).

Considere agora a lagrangiana de Proca, da qual se obtém a equação de movimento para partículas e campos massivos de spin 1. Ela é dada por (SCHWICHTENBERG, 2018, p. 129)

$$\mathcal{L}_{\text{Proca}} = \partial^{\mu}A^{\nu}\partial_{\mu}A_{\nu} - \partial^{\mu}A^{\nu}\partial_{\nu}A_{\mu} + m^2A^{\mu}A_{\mu}, \quad (12)$$

onde m é a massa e A^{μ} é um determinado campo vetorial.

Para partículas de massa nula, como o fóton, a lagrangiana fica

$$\mathcal{L}_{\text{Maxwell}} = \partial^{\mu}A^{\nu}\partial_{\mu}A_{\nu} - \partial^{\mu}A^{\nu}\partial_{\nu}A_{\mu}. \quad (13)$$

Essa é justamente a lagrangiana da qual se obtém a equação inhomogênea de Maxwell (sem termo de correntes elétricas). Ela pode ser escrita na forma convencional fazendo a seguinte identificação

$$F^{\sigma\rho} \equiv \partial^{\sigma}A^{\rho} - \partial^{\rho}A^{\sigma}, \quad (14)$$

onde $F^{\sigma\rho}$ é o tensor eletromagnético.

Essa lagrangiana possui uma simetria local, dada por

$$A_{\mu} \rightarrow A'_{\mu} = A_{\mu} + \partial_{\mu}a(x), \quad (15)$$

onde $a(x)$ é uma função arbitrária.

Agora, se as duas lagrangianas, a de Dirac e a de Maxwell, forem somadas, e se for imposta a simetria local pelo grupo U(1), por meio da adição do termo $A_{\mu}\bar{\Psi}\gamma^{\mu}\Psi$, cuja transformação é dada por¹

$$A_{\mu}\bar{\Psi}\gamma^{\mu}\Psi \rightarrow (A_{\mu} + \partial_{\mu}a(x))\bar{\Psi}\gamma^{\mu}\Psi = A_{\mu}\bar{\Psi}\gamma^{\mu}\Psi + \partial_{\mu}a(x)\bar{\Psi}\gamma^{\mu}\Psi, \quad (16)$$

obtém-se justamente a lagrangiana da eletrodinâmica quântica,

$$\mathcal{L}_{\text{Dirac+Termo Extra+Maxwell}} = -m\bar{\Psi}\Psi + i\bar{\Psi}\gamma_{\mu}D^{\mu}\Psi - \frac{1}{2}(\partial^{\mu}A^{\nu}\partial_{\mu}A_{\nu} - \partial^{\mu}A^{\nu}\partial_{\nu}A_{\mu}). \quad (17)$$

Ou seja, o fato de impor-se que uma simetria interna, sem relação com o espaço-tempo, seja invariante localmente com relação a um certo grupo de simetria leva justamente à lagrangiana que descreve a física que se esperava do sistema.

IV. TEORIA DE YANG-MILLS

As equações de Maxwell homogêneas e não homogêneas podem ser obtidas a partir de uma teoria de *gauge* referente a uma simetria local do grupo U(1). Ao se utilizar diferentes

¹Veja que o termo extra nessa transformação cancela justamente o termo extra que surge na transformação local da equação de Dirac.

grupos de simetria, outras estruturas são obtidas, as quais descrevem as demais interações, exceto a gravitação.

A generalização dessas estruturas é uma teoria de *gauge* que engloba os grupos especiais unitários de ordem n , denominada teoria de Yang-Mills. Por meio dessa, é possível descrever três das interações fundamentais: a interação forte, fraca e o eletromagnetismo. A ideia a seguir é apenas apresentar a forma das equações dessa teoria, sem um aprofundamento em seus significados, e verificar que o eletromagnetismo pode ser obtido a partir dessa teoria mais geral.

Antes de apresentar a lagrangiana dessa teoria, serão apresentadas algumas definições. Primeiramente, considerando-se um campo Ψ associado a uma certa representação de um grupo, pode-se escrever os elementos do grupo como

$$U(x) = [\exp[\epsilon^B(x)T_B]], \quad (18)$$

onde T_B são os geradores do grupo nessa dada representação e $\epsilon^B(x)$ os parâmetros de transformação. Uma transformação de *gauge* que tenha esse grupo como seu grupo de simetria, realizada sobre o campo Ψ , pode ser escrita como

$$\Psi'(x) = \exp[\epsilon^B(x)T_B]\Psi(x). \quad (19)$$

A transformação infinitesimal correspondente, obtida para parâmetros infinitesimais, pode ser escrita como

$$\delta\Psi = \epsilon^B(x)T_B\Psi(x). \quad (20)$$

Os geradores T_B satisfazem a relação de comutação

$$[T_B, T_C] = f^A_{BC} T_A, \quad (21)$$

onde f^A_{BC} são as constantes de estrutura da álgebra de Lie do grupo. A representação adjunta², cujos geradores são representados por J_B , é dada por matrizes $n \times n$ com componentes

$$(J_B)^A_C = f^A_{BC}. \quad (22)$$

Pode-se definir o campo bosônico de *gauge* (PEREIRA; ALDROVANDI, 2013, p. 27) como sendo uma 1-forma assumindo valores na álgebra de Lie do grupo de *gauge*,

$$A = T_C A^C_\mu dx^\mu. \quad (23)$$

Em termos físicos, esse campo é responsável por mediar as interações fundamentais.

Por meio da definição geral de derivada covariante de *gauge* (PEREIRA; ALDROVANDI, 1995),

$$D_\mu\Psi(x) = \partial_\mu\Psi(x) - A^B_\mu \frac{\delta\Psi(x)}{\delta\epsilon^B(x)}, \quad (24)$$

²Podemos buscar representações de um grupo em qualquer tipo de espaço vetorial, mas existe um espaço vetorial único que vem automaticamente com cada grupo - esse espaço é sua álgebra de Lie. A representação adjunta de um grupo de Lie é uma maneira de representar os elementos do grupo como transformações lineares da álgebra de Lie do grupo.

e da relação 20, é possível obter a derivada covariante do campo Ψ , dada por

$$D_\mu \Psi(x) = \partial_\mu \Psi(x) - A^B{}_\mu T_B \Psi(x), \quad (25)$$

onde a 1-forma A_μ assume valores na representação apropriada do grupo para o campo Ψ .

A derivada covariante do campo bosônico, que pertence à representação adjunta do grupo de *gauge*, é a sua 2-forma de curvatura,

$$F = \frac{1}{2} J_A F^A{}_{\mu\nu} dx^\mu \wedge dx^\nu, \quad (26)$$

cujas componentes são definidas por

$$F^A{}_{\mu\nu} = \partial_\mu A^A{}_\nu - \partial_\nu A^A{}_\mu + f^A{}_{BC} A^B{}_\mu A^C{}_\nu. \quad (27)$$

Essas componentes também podem ser obtidas por meio do comutador da derivada covariante³,

$$[D_\mu, D_\nu] = J_A F^A{}_{\mu\nu}. \quad (28)$$

Da definição dessas componentes, segue a identidade de Bianchi,

$$D_\rho F^A{}_{\mu\nu} + D_\nu F^A{}_{\rho\mu} + D_\mu F^A{}_{\nu\rho} = 0. \quad (29)$$

Finalmente, as equações dinâmicas seguem da lagrangiana

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} \gamma_{AB} F^A{}_{\mu\nu} F^{B\mu\nu}, \quad (30)$$

onde γ_{AB} é a métrica de Cartan-Killing, definida por

$$\gamma_{AB} = f^C{}_{AD} f^D{}_{BC}. \quad (31)$$

A partir dessa lagrangiana, e somando-se um termo de fonte na mesma, obtido a partir da lagrangiana para o campo Ψ livre e pelo princípio de acoplamento mínimo (substituir derivadas ordinárias por covariantes), é possível obter as equações de Yang-Mills,

$$\partial_\mu F^{A\mu\nu} + f^A{}_{BC} A^B{}_\mu F^{C\mu\nu} = J^{A\nu}, \quad (32)$$

onde

$$J^{A\nu} = -\frac{\partial \mathcal{L}_s}{\partial A_{A\nu}} \quad (33)$$

é a corrente de fonte (\mathcal{L} refere-se ao termo de fonte na lagrangiana).

No caso do eletromagnetismo, tem-se um grupo abeliano⁴, o grupo U(1). Assim,

³Há um detalhe envolvendo a definição das relações de comutação dos geradores e a definição de derivada covariante, que muda o sinal do termo $f^A{}_{BC}$ nessa relação de comutação das derivadas covariantes. A forma apresentada aqui para esse comutador é uma forma geral, e o sinal pode variar dependendo da convenção adotada.

⁴Um grupo abeliano é um grupo cujos elementos comutam.

os coeficientes de estrutura são nulos, de forma que as equações 29 e 32 recuperam, respectivamente, as equações homogênea e não homogênea de Maxwell.

Uma teoria de *gauge* para um grupo não abeliano implica na interação do campo de *gauge* consigo mesmo. Isso pode ser visto no termo à esquerda na equação 32, envolvendo os coeficientes f^A_{BC} . Esse termo define a chamada auto-corrente,

$$j^{Av} = -f^A_{BC} A^B{}_{\mu} F^{C\mu\nu}, \quad (34)$$

que é a corrente carregada pelos próprios campos de *gauge*. No caso abeliano do eletromagnetismo, o fóton não possui carga eletromagnética, e, portanto, não interage consigo mesmo. No entanto, os glúons na cromodinâmica, por exemplo, associada a um grupo não abeliano, interagem entre si.

V. TELEPARALELISMO - DISCUSSÕES PRELIMINARES

O espaço-tempo é uma variedade diferenciável, e em cada ponto é possível definir um espaço tangente, que engloba todos os vetores que podem ser associados ao ponto. É importante ressaltar que a variedade carrega automaticamente consigo os espaços tangentes, a partir do momento em que é definida.

No contexto da gravitação teleparalela, o espaço tangente é um espaço quadridimensional de Minkowski associado a um ponto. Intuitivamente, é muito comum, nesse momento, imaginar a origem desse espaço grudada no ponto. Porém, para entender o teleparalelismo, é importante que isso não seja tomado a risca. O melhor é imaginá-lo como um espaço “independente”⁵, onde é possível realizar todas as operações comumente feitas em um espaço de Minkowski, como translações, rotações e boosts.

Como o espaço tangente está intimamente ligado ao ponto onde é definido, há uma correspondência entre as bases escolhidas nesse espaço, denominadas tetradas, e as bases “anexadas” ao ponto no espaço tempo, que aqui serão tomadas como sendo as bases coordenadas. Para explicitar isso na notação matemática, quando estiver se tratando dos elementos⁶ escritos em termos da base geral escolhida para o espaço tangente⁷, os índices usados serão latinos (a, b, c, \dots), enquanto que os índices gregos (μ, ν, λ, \dots) serão reservados para os elementos escritos em termos da base “anexada” ao espaço tempo.

No teleparalelismo, o espaço-tempo de Riemann, que possui curvatura apenas, é substituído pelo espaço-tempo de Weitzenböck, que possui apenas torção. Isso faz surgir duas estruturas geométricas com formalismos distintos. Por outro lado, ambas as estruturas podem ser usadas para descrever a gravitação, devido à universalidade dessa. Vale ressaltar, no entanto, que apenas uma das estruturas é suficiente para realizar tal descrição. Além

⁵Ele está intimamente ligado ao ponto onde é definido, mas agora há uma liberdade na escolha de sua origem.

⁶“Elementos” aqui é usado não apenas para quadrivetores, mas também para outros objetos construídos a partir das bases, como tensores.

⁷Em alguns momentos pode ser usada também a expressão “espaço interno” para denominar o espaço tangente, em analogia com as teorias de calibre (o mesmo que teoria de *Gauge*) para as interações fundamentais. É uma analogia no sentido em que o teleparalelismo não é uma teoria de calibre convencional, pois o “espaço interno” aqui não é independente do espaço-tempo.

disso, o teleparalelismo é, ao menos macroscopicamente, equivalente à relatividade geral, no sentido em que os resultados experimentais esperados são idênticos.

O teleparalelismo é atualmente estudado a partir dos formalismos lagrangiano e hamiltoniano (MALUF; ROCHA-NETO, 2001). Ambas as formas de abordá-lo têm apresentado avanços consideráveis na descrição de fenômenos não explicados no contexto da relatividade geral. Neste trabalho, porém, será utilizado apenas o formalismo lagrangiano.

A seguir, essa teoria de gravitação será discutida a partir do ponto de vista de uma teoria de *gauge*⁸ para o grupo de translação.

VI. A TEORIA DE *Gauge* PARA O GRUPO DE TRANSLAÇÃO

Nesse primeiro momento, será assumido que o espaço-tempo é um espaço de Minkowski. Em cada ponto desse espaço, tem-se um espaço tangente. As bases coordenadas desses espaços podem ser relacionadas da seguinte forma⁹

$$\partial_\mu = (\partial_\mu x^a) \partial_a \quad \text{e} \quad \partial_a = (\partial_a x^\mu) \partial_\mu, \quad (35)$$

onde x^a e x^μ são as coordenadas nesses espaços.

Uma translação local na fibra, que é a transformação de *gauge* de interesse, pode ser expressa como

$$x'^a = x^a + a^a(x^\mu), \quad (36)$$

onde $a^a(x^\mu)$ são os parâmetros da transformação. Essa transformação também pode ser escrita com $x' = Ux$, onde U é um elemento do grupo de translação. Assim, pode-se representar uma transformação infinitesimal como

$$U = 1 + \delta a^a P_a, \quad (37)$$

onde δa^a são os parâmetros de transformação e $P_a = \partial_a$ são os geradores de translações infinitesimais. Eles satisfazem a relação de comutação

$$[P_a, P_b] = 0. \quad (38)$$

A transformação 36 pode ser então escrita, em sua versão infinitesimal, como

$$\delta x^a = \delta a^b P_b x^a. \quad (39)$$

Agora, considere um campo de fonte, denominado $\Phi(x^\mu)$. A transformação de *gauge* para esse campo pode ser escrita como

$$\Phi'(x^\mu) = U\Phi(x^\mu), \quad (40)$$

⁸Apenas para lembrar: teoria de *gauge* é o mesmo que teoria de calibre.

⁹Aqui, índices latinos referem-se ao espaço tangente, e índices gregos ao espaço-tempo.

e a transformação infinitesimal desse campo fica

$$\delta\Phi = \delta a^a P_a \Phi. \quad (41)$$

Perceba que essa mudança $\delta\Phi$ no campo é feita localmente, ou seja, no mesmo ponto x^μ . Veja também que, por causa da relação 35, os geradores P_a podem agir em qualquer campo de fonte por meio de seus argumentos x^μ .

Para poder-se definir a derivada covariante de *gauge*, é necessário introduzir os potenciais de gauge B_μ do modelo, dados pela equação a seguir

$$B_\mu = B^a{}_\mu P_a, \quad (42)$$

onde $B^a{}_\mu$ são as componentes ao longo dos geradores P_a .

A definição geral de derivada covariante de *gauge*, dada pela equação 24, pode ser escrita, para os potenciais B_μ e parâmetros δa^a , da seguinte forma

$$D_\mu = \partial_\mu + c^{-2} B^a{}_\mu \frac{\delta}{\delta a^a}, \quad (43)$$

onde o inverso ao quadrado da velocidade da luz, c^{-2} , é introduzido apenas por razões dimensionais. Utilizando-se essa definição e a relação 41, pode-se escrever

$$D_\mu \Phi = \partial_\mu \Phi + c^{-2} B^a{}_\mu P_a \Phi. \quad (44)$$

Como os geradores P_α são definidos em termos de derivadas que agem sobre o campo por meio de seus argumentos, como já mencionado acima, todo campo de fonte acopla com o potencial B_μ . É daqui que irá surgir o conceito de universalidade da gravitação, de acordo com esse modelo (ANDRADE; PEREIRA, 1997a).

Ao impor que a derivada se transforme de forma covariante, obtém-se a lei de transformação para o potencial, dada a seguir

$$B'_\mu = U B_\mu U^{-1} + c^2 U \partial_\mu U^{-1}, \quad (45)$$

e a transformação infinitesimal correspondente é dada por

$$B'^a{}_\mu = B^a{}_\mu - c^2 \partial_\mu \delta a^a. \quad (46)$$

A força de campo (análoga à 2-forma curvatura dada na equação 26) $F^a{}_{\mu\nu}$ é definida a partir da derivada covariante do potencial de *gauge* $B^a{}_\mu$, e pode ser escrita como

$$F^a{}_{\mu\nu} = \partial_\mu B^a{}_\nu - \partial_\nu B^a{}_\mu. \quad (47)$$

Ela assume essa forma pois o comutador dos geradores do grupo é nulo, ou seja, os coeficientes de estrutura são nulos.

Finalmente, as equações dinâmicas podem ser obtidas a partir de uma lagrangiana quadrática na força de campo, de forma análoga à equação 30. Essa lagrangiana é dada a

seguir

$$\mathcal{L} = \frac{1}{16\pi G} \left[\frac{1}{4} F^a{}_{\mu\nu} F^b{}_{\theta\rho} \eta^{\mu\theta} N_{ab}{}^{\nu\rho} \right], \quad (48)$$

onde G é a constante gravitacional e

$$N_{ab}{}^{\nu\rho} = \eta_{ab} \eta^{\nu\rho}. \quad (49)$$

VII. PARTÍCULA DE MASSA M EM UM CAMPO GRAVITACIONAL

Agora, será apresentada a descrição do movimento de uma partícula de massa m sob a ação de um campo gravitacional, como descrito pela teoria de *gauge* para o grupo de translação. O espaço-tempo ainda é um espaço de Minkowski, de modo que é possível fazer uma analogia com o caso do eletromagnetismo.

Para o termo de acoplamento da partícula com o campo, assume-se que a ação é dada por (ANDRADE; PEREIRA, 1997a)

$$c^{-2} \int_a^b B^a{}_{\mu} p_a dx^{\mu}, \quad (50)$$

onde a integral é realizada ao longo da linha de mundo da partícula, e p_a é a carga de Noether conservada associada às transformações do grupo de *gauge* considerado, que no caso das translações é justamente o quadri-momento,

$$p_{\alpha} = mc u_{\alpha}, \quad (51)$$

onde u_{α} é a quadri-velocidade.

A ação completa da partícula no campo gravitacional é dada por

$$S = \int_a^b L ds \equiv \int_a^b \left[-mc \sqrt{-u^2} + \frac{m}{c} B^a{}_{\mu} u_a u^{\mu} \right] ds, \quad (52)$$

onde o parâmetro utilizado foi a raiz do intervalo, $ds = (\eta_{\mu\nu} dx^{\mu} dx^{\nu})^{\frac{1}{2}}$, e $u^2 = \eta_{\mu\nu} u^{\mu} u^{\nu}$. Perceba que a primeira parte dessa ação é apenas a ação para uma partícula livre na relatividade especial, e a segunda é o termo de acoplamento da partícula com o campo. Ao apresentar-se ambas as massas na ação acima como sendo iguais, já se assume a igualdade entre massa inercial e gravitacional.

Por meio das equações de Euler-Lagrange, é possível obter as equações de movimento, dada por

$$mc \left[\frac{du_{\mu}}{ds} + c^{-2} B^a{}_{\mu} \frac{du_{\alpha}}{ds} \right] = \frac{m}{c} F^a{}_{\mu\nu} u_a u^{\nu}, \quad (53)$$

ou, usando-se a relação

$$\frac{du_{\mu}}{ds} = \left(\frac{\partial x^a}{\partial x^{\mu}} \right) \frac{du_{\alpha}}{ds}, \quad (54)$$

obtém-se

$$(\partial_\mu x^a + c^{-2} B^a{}_\mu) \frac{du^a}{ds} = c^{-2} F^a{}_{\mu\nu} u^a u^\nu. \quad (55)$$

Essa equação é análoga à força de Lorentz do eletromagnetismo, dada, na formulação covariante, por

$$\frac{du_\mu}{d\tau} = c^{-1} \frac{q}{m} F_{\mu\nu} u^\nu. \quad (56)$$

onde u_μ é a quadri-velocidade, τ é o tempo próprio, q é a carga elétrica e $F_{\mu\nu}$ é o tensor eletromagnético. Veja que, na equação 55, não aparece um termo análogo ao $\frac{q}{m}$ na força de Lorentz. Isso é porque as massas inercial e gravitacional se cancelam.

VIII. AS TETRADAS E A TORÇÃO NA DESCRIÇÃO DA GRAVITAÇÃO

Nas seções anteriores, o espaço considerado era um espaço de Minkowski. No entanto, a introdução de uma tetrada não trivial leva ao aparecimento de outras estruturas no espaço-tempo, e essas estruturas podem ser associadas à gravitação, devido à sua universalidade (ANDRADE; PEREIRA, 1997a). A seguir, tem-se uma discussão de como isso ocorre.

A equação 44, que define a derivada covariante referente ao grupo de translação, pode ser reescrita, a partir da equação 35, como

$$D_\mu \Phi = (\partial_\mu x^a + c^{-2} B^a{}_\mu) \partial_a \Phi. \quad (57)$$

Se a expressão entre parênteses for denominada $h^a{}_\mu$, pode-se escrever,

$$D_\mu = h^a{}_\mu \partial_a. \quad (58)$$

Veja que essa é, na verdade, a definição de uma nova base no espaço tangente, ou seja, de uma nova tetrada. Nesse sentido, o campo gravitacional, associado ao potencial $B^a{}_\mu$, aparece como a parte não trivial da tetrada. Sem esse campo, ela vira novamente a tetrada trivial da equação 35. É possível verificar também que essa nova tetrada é invariante por transformações do grupo de translação.

O comutador da derivada covariante fornece a expressão

$$[D_\mu, D_\nu] = c^{-2} F^a{}_{\mu\nu} P_a, \quad (59)$$

que, como é comum nas teorias de gauge (ver equação 28), fornece a força de campo, ou 2-forma curvatura.

A introdução da tetrada não trivial leva também à definição de uma conexão de Cartan, que é a conexão de Weitzenböck,

$$\Gamma^{\rho}{}_{\mu\nu} = h_a{}^\rho \partial_\nu h^a{}_\mu. \quad (60)$$

Essa conexão apresenta apenas torção, dada pelo tensor

$$T^{\rho}{}_{\mu\nu} = \Gamma^{\rho}{}_{\nu\mu} - \Gamma^{\rho}{}_{\mu\nu}. \quad (61)$$

Com base nesse tensor, é possível escrever a força de campo como

$$F^a_{\mu\nu} = c^2 h^a_{\rho} T^{\rho}_{\mu\nu}. \quad (62)$$

Com essas definições, o comutador 59 pode ser escrito como

$$[D_{\mu}, D_{\nu}] = T^{\rho}_{\mu\nu} D_{\rho}, \quad (63)$$

ou seja, a torção está associada justamente ao coeficiente de holonomia da tetrada. Esse coeficiente, no caso de uma tetrada não trivial, engloba os efeitos gravitacionais. Em outras palavras, a presença de um campo gravitacional no espaço-tempo induz uma torção, essa, por sua vez, associada à tetrada que, em sua definição, engloba os potenciais de *gauge* associados à gravitação.

VIII.subsection. Significado da Torção

Nesse ponto, é importante dar uma pausa e entender um pouco do significado da torção. Quando são discutidas a conexão e a curvatura no contexto da relatividade geral, geralmente se recorre ao conceito de transporte paralelo. Aqui, não é diferente.

Seja uma curva $x^{\mu}(\lambda)$ e um tensor qualquer $T^{\mu_1 \dots \mu_k}_{\nu_1 \dots \nu_l}$. A condição de que esse tensor seja constante ao longo da curva pode ser traduzida na constância de suas componentes (CARROLL, 2004, p. 105):

$$\frac{d}{d\lambda} T^{\mu_1 \dots \mu_k}_{\nu_1 \dots \nu_l} = \frac{dx^{\mu}}{d\lambda} \frac{\partial}{\partial x^{\mu}} T^{\mu_1 \dots \mu_k}_{\nu_1 \dots \nu_l} = 0. \quad (64)$$

Para que a equação acima tenha caráter tensorial, define-se a derivada covariante direcional, substituindo-se a derivada parcial acima pela derivada covariante:

$$\frac{D}{d\lambda} = \frac{dx^{\mu}}{d\lambda} \nabla_{\mu}. \quad (65)$$

Por fim, define-se o transporte paralelo do tensor T ao longo do caminho $x^{\mu}(\lambda)$ como sendo a condição de que a derivada covariante desse tensor ao longo do caminho seja nula:

$$\left(\frac{D}{d\lambda} T \right)^{\mu_1 \dots \mu_k}_{\nu_1 \dots \nu_l} \equiv \frac{dx^{\sigma}}{d\lambda} \nabla_{\sigma} T^{\mu_1 \dots \mu_k}_{\nu_1 \dots \nu_l} = 0 \quad (66)$$

Essa equação é conhecida como equação do transporte paralelo. Para um vetor V^{μ} , por exemplo, ela tem a forma

$$\frac{d}{d\lambda} V^{\mu} + \Gamma^{\mu}_{\sigma\rho} \frac{dx^{\sigma}}{d\lambda} V^{\rho} = 0, \quad (67)$$

onde $\Gamma^{\mu}_{\sigma\rho}$ é a conexão. Como se pode ver, o transporte paralelo de tensores depende da conexão utilizada. Diferentes resultados são obtidos para diferentes conexões.

A conexão de Levi-Civita, que tem apenas curvatura, diz como é possível transportar um tensor de forma paralela ao longo de uma curva. No entanto, no transporte específico definido por essa conexão, o tensor não “rotaciona” ao longo do “eixo” definido pela própria

curva. Esse tensor é apenas deslizado ao longo da curva, “rolando” enquanto a segue (ver imagem 2 - o “rolamento” do vetor ao longo da curva é melhor evidenciado no caminho N-A; perceba, no entanto, que o vetor não “rotaciona” em torno da curva, pois não há torção).

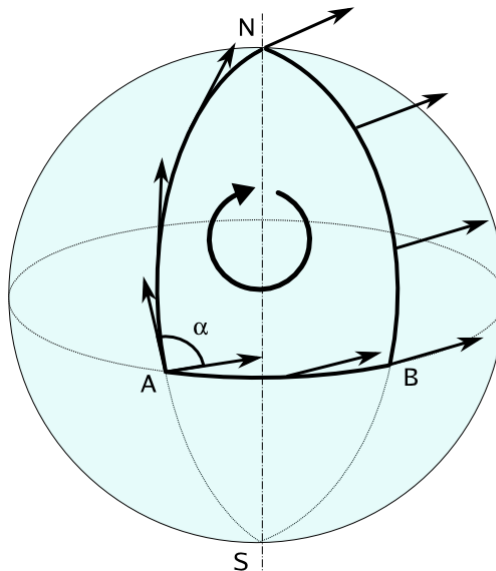


Figura 2: Representação do transporte paralelo de um vetor no polo norte de uma esfera (ANTONY, 2006), por dois caminhos distintos, N-A e N-B-A. Perceba que o vetor no ponto final depende do caminho tomado.

O transporte paralelo definido pela conexão de Weitzenböck, no entanto, faz com que o tensor “rotacione” ao longo de seu transporte pela curva, sem “rolar” ao longo dessa. Essa definição intuitiva é exibida na figura a seguir:

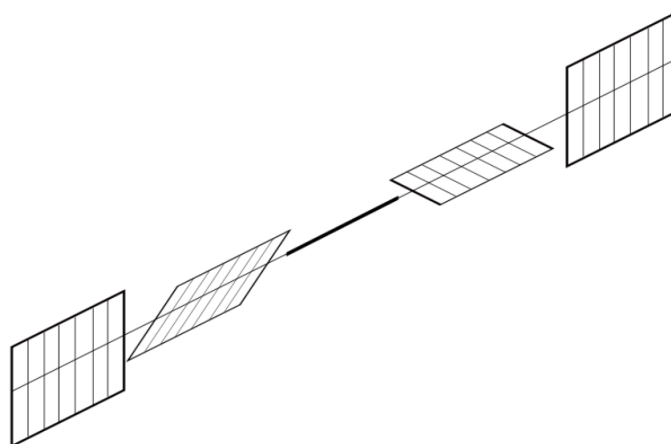


Figura 3: Representação de um transporte paralelo envolvendo a conexão de Weitzenböck. (KASUGAHUANG, 2007)

VIII.subsection. O Transporte Paralelo da Tetrada

A definição da conexão de Weitzenböck permite a introdução de uma derivada covariante no espaço tempo, a derivada covariante de Weitzenböck. Para um vetor covariante V_μ , por exemplo, ela tem a seguinte forma

$$\nabla_\nu V_\mu = \partial_\nu V_\mu - \Gamma^\theta_{\mu\nu} V_\theta. \quad (68)$$

As equações do transporte paralelo obtidas anteriormente são válidas aqui, bastando se considerar a conexão de Weitzenböck. Desse modo, o transporte paralelo é definido a partir da imposição de que a derivada covariante do tensor ao longo do caminho definido seja nula (equação 66).

Aplicando a derivada covariante de Weitzenböck à tetrada, obtém-se, por causa da equação 60,

$$\nabla_\nu h^a_\mu = \partial_\nu h^a_\mu - h^a_\rho \Gamma^\rho_{\mu\nu} \equiv 0, \quad (69)$$

ou seja, a tetrada é transportada paralelamente com relação à conexão de Weitzenböck. Essa é a condição de paralelismo absoluto.

VIII.subsection. A Tetrada e a Estrutura Riemaniana do Espaço-Tempo

A presença de uma tetrada não trivial também induz, no espaço-tempo, uma estrutura riemanniana. Como a tetrada satisfaz as equações,

$$h^a_\mu h_a^\nu = \delta_\mu^\nu \text{ e } h^a_\mu h_b^\mu = \delta_b^a, \quad (70)$$

se η^{ab} é a métrica usada para subir e descer os índices latinos, os índices tensoriais são levantados e abaixados por meio da métrica riemaniana,

$$g_{\mu\nu} = \eta_{ab} h^a_\mu h^b_\nu. \quad (71)$$

Isso é consequência de a tetrada ser pseudo-ortogonal em relação à métrica riemaniana.

É possível, a partir da métrica, introduzir uma conexão que tenha apenas curvatura - essa é justamente a conexão de Levi-Civita da relatividade geral,

$$\mathring{\Gamma}^\theta_{\mu\nu} = \frac{1}{2} g^{\theta\rho} (\partial_\mu g_{\rho\nu} + \partial_\nu g_{\rho\mu} - \partial_\rho g_{\mu\nu}). \quad (72)$$

A curvatura associada a essa conexão é dada por

$$\mathring{R}^\theta_{\rho\mu\nu} = \partial_\mu \mathring{\Gamma}^\theta_{\rho\nu} + \mathring{\Gamma}^\theta_{\sigma\mu} \mathring{\Gamma}^\sigma_{\rho\nu} - (\mu \leftrightarrow \nu). \quad (73)$$

Essa é a curvatura induzida no espaço tempo por um campo gravitacional, de acordo com a relatividade geral. Com a conexão de Levi-Civita, como já foi visto, é possível introduzir uma outra derivada covariante. Em um vetor, ela é dada por

$$\mathring{\nabla}_\nu V_\mu = \partial_\nu V_\mu - \mathring{\Gamma}^\theta_{\mu\nu} V_\theta. \quad (74)$$

É possível verificar, dadas as definições anteriores, que ambas as conexões $\Gamma^\theta_{\mu\nu}$ e $\hat{\Gamma}^\theta_{\mu\nu}$ preservam a métrica,

$$\hat{\nabla}_\nu g_{\rho\mu} = \nabla_\nu g_{\rho\mu} = 0. \quad (75)$$

Agora, se a equação 71 for substituída na equação 72, tendo em mente a definição da conexão $\Gamma^\theta_{\mu\nu}$ (equação 60), é possível obter

$$\Gamma^\theta_{\mu\nu} = \hat{\Gamma}^\theta_{\mu\nu} - K^\theta_{\mu\nu}, \quad (76)$$

onde

$$K^\theta_{\mu\nu} = \frac{1}{2}[T_\mu^\theta{}_\nu + T_\nu^\theta{}_\mu - T^\theta_{\mu\nu}] \quad (77)$$

é denominado tensor de contorção.

Como já comentado anteriormente, a curvatura da conexão de Weitzenböck é nula,

$$R^\theta_{\rho\mu\nu} = \partial_\mu \Gamma^\theta_{\rho\nu} + \Gamma^\theta_{\sigma\mu} \Gamma^\sigma_{\rho\nu} - (\mu \leftrightarrow \nu) \equiv 0. \quad (78)$$

Se nessa expressão a conexão $\Gamma^\theta_{\mu\nu}$ for substituída de acordo com a expressão 76, obtém-se

$$R^\theta_{\rho\mu\nu} = \hat{R}^\theta_{\rho\mu\nu} + (DK)^\theta_{\rho\mu\nu} - K^\theta_{\sigma\mu} K^\sigma_{\rho\nu} + K^\theta_{\sigma\nu} K^\sigma_{\rho\mu} \equiv 0, \quad (79)$$

onde

$$(DK)^\theta_{\rho\mu\nu} = \partial_\mu K^\theta_{\rho\nu} + \Gamma^\theta_{\sigma\mu} K^\sigma_{\rho\nu} + \Gamma^\sigma_{\rho\nu} K^\theta_{\sigma\mu}. \quad (80)$$

Pode-se perceber, portanto, que a presença de uma tetrada não-trivial na teoria de *gauge* para o grupo de translação induz tanto uma estrutura riemanaiana como uma estrutura teleparalela no espaço tempo. Veja também que a curvatura da conexão de Levi-Civita é justamente o que compensa a “contribuição” de curvatura advinda da estrutura teleparalela (em termos do tensor de contorção), levando a uma curvatura total nula.

IX. A LAGRANGIANA TELEPARALELA

No espaço-tempo induzido pela tetrada não-trivial, a lagrangiana 48 se escreve(ANDRADE; PEREIRA, 1997a)

$$\mathcal{L} = \frac{h}{16\pi G} \left[\frac{1}{4} F^a_{\mu\nu} F^b_{\theta\rho} g^{\mu\theta} N_{ab}{}^{\nu\rho} \right], \quad (81)$$

onde $h = \det(h^a{}_\mu)$ é o jacobiano da transformação dada pela equação 58. Porém, o termo $N_{ab}{}^{\nu\rho}$ não é dado simplesmente pela equação 49,

$$N_{ab}{}^{\nu\rho} = \eta_{ab} g^{\nu\rho} \equiv \eta_{ab} h_c{}^\nu h^{c\rho}, \quad (82)$$

isso porque agora os índices do espaço tangente (latinos) e de espaço-tempo (gregos) podem ser relacionados por meio da tetrada, e portanto aparecem misturados na lagrangiana acima. É necessário incluir, na expressão de $N_{ab}{}^{\nu\rho}$, as permutações cíclicas dos índices latinos, de modo que obtém-se

$$N_{ab}{}^{\nu\rho} = \eta_{ab} h_c{}^\nu h^{c\rho} + 2h_a{}^\rho h_b{}^\nu - 4h_a{}^\nu h_b{}^\rho. \quad (83)$$

Substituindo essa equação na lagrangiana 81, e usando a equação 62, é possível escrever

$$\mathcal{L} = \frac{hc^4}{16\pi G} \left[\frac{1}{4} T_{\mu\nu}^{\rho} T_{\rho}^{\mu\nu} + \frac{1}{2} T_{\mu\nu}^{\rho} T^{\nu\mu}_{\rho} - T_{\rho\mu}^{\rho} T^{\nu\mu}_{\nu} \right], \quad (84)$$

que é a lagrangiana da teoria translacional de *gauge*, escrita em termos da torção.

A lagrangiana obtida acima também pode ser obtida a partir do contexto da relatividade geral. A lagrangiana associada à dinâmica do campo gravitacional é a lagrangiana de Einstein-Hilbert, exibida a seguir

$$\mathcal{L} = \frac{\sqrt{-g}c^4}{16\pi G} \mathring{R}, \quad (85)$$

onde $\mathring{R} = g^{\mu\nu} \mathring{R}^{\rho}_{\mu\rho\nu}$ é a curvatura escalar (escalar de Ricci) da conexão de Levi-Civita, e $g = \det(g_{\mu\nu})$. Substituindo \mathring{R} de acordo com a equação 79, é possível obter (ANDRADE; PEREIRA, 1997b) justamente a lagrangiana 84, com $h = \det(h^a_{\mu}) = \sqrt{-g}$. Esse resultado demonstra que a teoria de *gauge* para o grupo de translação, com uma lagrangiana quadrática na torção, é completamente equivalente à relatividade geral, com sua lagrangiana envolvendo a curvatura escalar.

A lagrangiana 84 pode ser reescrita de modo a obter-se uma equação de campo no vácuo, análoga à equação de Yang-Mills 32. Para tal, define-se

$$S_{\rho}^{\mu\nu} = \frac{1}{4} (T_{\rho}^{\mu\nu} + T^{\mu}_{\rho}{}^{\nu} - T^{\nu}_{\rho}{}^{\mu}) - \frac{1}{2} (\delta_{\rho}^{\nu} T_{\theta}^{\mu\theta} - \delta_{\rho}^{\mu} T_{\theta}^{\nu\theta}), \quad (86)$$

de modo que a lagrangiana pode ser escrita como

$$\mathcal{L} = \frac{hc^4}{16\pi G} S_{\rho}^{\mu\nu} T^{\rho}_{\mu\nu}. \quad (87)$$

Variando a lagrangiana acima com relação ao potencial B^a_{μ} , obtém-se

$$\partial_{\nu} S_{\rho}^{\mu\nu} - \frac{4\pi G}{c^4} t_{\rho}^{\mu} = 0, \quad (88)$$

onde

$$t_{\rho}^{\mu} = \frac{c^4}{16\pi G} [4S_{\rho}^{\mu\theta} \Gamma_{\nu\theta}^{\nu} + 2S^{\mu\nu\theta} T_{\rho\nu\theta} + T_{\sigma}^{\theta\mu} T^{\sigma}_{\theta\rho} + T^{\theta}_{\sigma}{}^{\mu} T^{\sigma}_{\theta\rho} - 2T^{\theta\mu}_{\theta} T^{\theta}_{\rho\theta} + \frac{1}{2} T^{\mu\theta}_{\sigma} T_{\rho\theta}{}^{\sigma}] - \delta_{\rho}^{\mu} h^{-1} \mathcal{L} \quad (89)$$

é a auto-corrente do campo de *gauge*, análoga àquela que aparece na equação de Yang-Mills, dada pela equação 34. No caso tratado acima, ela é o pseudo-tensor de energia-momento do campo gravitacional. Perceba que, apesar da analogia com a equação de Yang-Mills, esse termo de auto-corrente não pode ser obtido a partir dos coeficientes de estrutura do grupo considerado, pois o grupo de translações é abeliano. Assim, a auto-corrente aqui tem uma natureza diferente daquela que aparece na equação de Yang-Mills.

É possível mostrar, a partir da equação 76, que a equação 88 é equivalente à equação de

campo de Einstein no vácuo,

$$\mathring{R}_{\rho\theta} - \frac{1}{2}g_{\rho\theta}\mathring{R} = 0, \quad (90)$$

onde $\mathring{R}_{\rho\theta}$ é o tensor de curvatura de Ricci.

X. A EQUAÇÃO DE FORÇA

Considere novamente a equação 55. Em termos da tetrada, ela pode ser escrita agora como

$$h^a{}_{\mu} \frac{du_a}{ds} = c^{-2} F^a{}_{\mu\nu} u_a u^\nu. \quad (91)$$

A partir da equação 62 e das relações

$$h^a{}_{\mu} \frac{du_a}{ds} = \omega_{\mu} \equiv \frac{du_{\mu}}{ds} - \Gamma_{\theta\mu\nu} u^{\theta} u^{\nu} \quad (92)$$

e

$$u_a = h_{a\theta} u^{\theta}, \quad (93)$$

onde ω_{μ} é a quadri-aceleração da partícula no espaço-tempo, pode-se escrever

$$\frac{du_{\mu}}{ds} - \Gamma_{\theta\mu\nu} u^{\theta} u^{\nu} = T_{\theta\mu\nu} u^{\theta} u^{\nu}. \quad (94)$$

Do lado esquerdo dessa equação, tem-se a derivada covariante de Weitzenböck de u_{μ} ao longo da linha de mundo da partícula. A torção no lado direito da equação faz o papel de uma força externa, o que implica que as partículas não irão seguir geodésicas no espaço-tempo de Weitzenböck. De acordo com a descrição teleparalela, portanto, o papel do campo gravitacional é induzir uma torção no espaço-tempo, responsável por determinar a trajetória da partícula.

O formato da equação de força teleparalela 91 é o que mais se assemelha à equação de Lorentz do eletromagnetismo 56, e por isso ela é chamada de “equação de Lorentz gravitacional”. Reescrevendo essa equação na forma 94 e usando a relação 76, obtém-se exatamente a equação da geodésica da relatividade geral. Ou seja, a gravidade pode ser descrita tanto por uma equação geométrica, com as partículas percorrendo geodésicas no espaço-tempo, quanto por uma equação de força, cuja forma aproxima a gravitação das demais interações fundamentais, descritas no contexto da teoria de Yang-Mills.

XI. O TENSOR ENERGIA-MOMENTO

Um dos problemas mais antigos no contexto da gravitação é o da definição da densidade de energia-momento para o campo gravitacional. Apresentando-o como um campo verdadeiro, é de se esperar que ele tenha uma densidade local de energia-momento própria. No entanto, geralmente se afirma que não é possível definir tal densidade por causa do princípio de equivalência (ANDRADE; GUILLEN; PEREIRA, 2000). Como consequência disso, a tentativa de uma definição dessa densidade leva a objetos que não se transformam

tensorialmente. Einstein, por exemplo, quando estava estudando esse problema, propôs uma expressão para essa densidade, que era a expressão canônica obtida partir do teorema de Noether. No entanto, o que ele obteve foi apenas um pseudo-tensor.

Parece, portanto, que na relatividade geral não é possível definir uma densidade de energia-momento para o campo gravitacional que seja realmente um tensor. Porém, no teleparalelismo como uma teoria de *gauge* para a gravitação, é possível encontrar uma expressão para essa densidade que seja realmente um tensor de espaço-tempo e um tensor de *gauge*, como será exibido a seguir.

É possível obter, a partir da variação da lagrangiana 87 com relação ao potencial e manipulações algébricas envolvendo a tetrada, a seguinte equação de campo gravitacional,

$$\partial_\sigma(hS_a^{\sigma\rho}) - \frac{4\pi G}{c^4}(hj_a^\rho) = 0, \quad (95)$$

onde $S_a^{\sigma\rho} \equiv h_a^\lambda S_\lambda^{\sigma\rho}$, sendo $S_\lambda^{\sigma\rho}$ obtido a partir da equação 86, e

$$hj_a^\rho \equiv -\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial h_a^\rho} = \frac{c^4}{4\pi G}hh_a^\lambda S_\mu^{\nu\rho}T_{\nu\lambda}^\mu - h_a^\rho\mathcal{L}. \quad (96)$$

A equação 95 é equivalente à equação 88, porém agora ela é escrita em termos também de índices tangentes, de forma análoga à equação de Yang-Mills 32. O termo hj_a^ρ , cuja definição é dada acima, é a corrente de *gauge* gravitacional, que representa, nesse caso, o tensor de energia-momento do campo gravitacional (ANDRADE; GUILLEN; PEREIRA, 2000). Já o termo $hS_a^{\sigma\rho}$ é denominado super-potencial, no sentido em que pode-se obter, a partir de sua derivada, a corrente de *gauge*.

A assimetria de $S_a^{\sigma\rho}$ nos seus dois últimos índices implica na conservação da corrente de *gauge* gravitacional, hj_a^ρ , por causa da equação de campo

$$\partial_\rho(hj_a^\rho) = 0, \quad (97)$$

obtida pela aplicação da derivada parcial ∂_ρ na equação 95. Por meio da identidade

$$\partial_\rho h \equiv h\Gamma^{\nu}_{\rho\nu} = h(\Gamma^{\nu}_{\rho\nu} - K^{\nu}_{\rho\nu}), \quad (98)$$

é possível reescrever a equação 97 como

$$D_\rho j_a^\rho \equiv \partial_\rho j_a^\rho + (\Gamma^\rho_{\lambda\rho} - K^\rho_{\lambda\rho})j_a^\lambda = 0, \quad (99)$$

onde D_ρ é apenas a derivada covariante de Levi-Civita escrita em termos da conexão de Weitzenböck por meio da equação 76. É possível verificar que a quantidade j_a^ρ se transforma de forma covariante sob uma transformação de coordenadas do espaço-tempo e também que ela é invariante sob transformações locais de *gauge* das coordenadas do espaço tangente. Isso significa que ela é um tensor de espaço-tempo e de *gauge* verdadeiro. No entanto, ela só se transforma de maneira covariante sob uma transformação de Lorentz global do espaço tangente.

O pseudo-tensor de energia-momento do campo gravitacional 89 pode ser escrito em

termos da corrente de *gauge* j_a^ρ por meio da expressão

$$t_\lambda^\rho = h^a_{\lambda} j_a^\rho + \frac{c^4}{4\pi G} \Gamma^\mu_{\lambda\nu} S_\mu^{\nu\rho}. \quad (100)$$

É justamente esse termo envolvendo a conexão que transforma a corrente de *gauge* j_a^ρ , que é um tensor de espaço-tempo verdadeiro, no pseudo-tensor de energia-momento t_λ^ρ . Cada definição desse pseudo-tensor está associada à definição de um dado super-potencial $h S_\lambda^{\rho\sigma}$. Assim como a corrente de *gauge*, o pseudo-tensor é conservado como consequência da equação de campo

$$\partial_\rho (h t_\lambda^\rho) = 0, \quad (101)$$

porém essa equação não pode ser reescrita em termos da derivada covariante, dado o caráter não tensorial de t_λ^ρ .

XII. CONCLUSÃO

Com o advento da relatividade geral de Einstein, a descrição atribuída à gravitação foi modificada de forma marcante. Antes, ela era descrita por uma força, a lei da gravitação universal de Newton, porém Einstein percebeu que, por causa dos princípios discutidos neste trabalho, ela poderia ser interpretada também como algo geométrico: a curvatura do espaço-tempo. A partir desse ponto de vista, fenômenos como o lenteamento gravitacional e o avanço no periélio de mercúrio foram previstos e verificados. A teoria de Einstein, portanto, estendeu os limites de validade da teoria de Newton.

Apesar de seus méritos, a teoria da relatividade geral apresenta problemas quando são feitas tentativas de conciliá-la com as demais interações físicas, essas, por sua vez, descritas por teorias de *gauge*. Essas teorias foram estudadas e desenvolvidas ao longo do século XX, e proporcionaram avanços notáveis na descrição das interações. O eletromagnetismo, por exemplo, pode ser obtido a partir da teoria de *gauge* para o grupo U(1). Um conjunto de teorias de *gauge* para os grupos especiais unitários de ordem n foi proposto por Chen Ning Yang e Robert Mills, culminando na denominada teoria de Yang-Mills, da qual se obtém as interações fundamentais, a depender do grupo de simetria escolhido.

Por causa dos problemas de compatibilização da relatividade geral, diversos cientistas, inclusive o próprio Einstein, trabalharam na elaboração de outras teorias que viabilizassem essa compatibilização. Uma dessas teorias alternativas de gravitação, que foi desenvolvida ao longo do século XX, foi a gravitação teleparalela. O teleparalelismo é obtido a partir de uma teoria de *gauge* para o grupo de translação, o que o aproxima do formalismo das demais interações fundamentais. Essa teoria implica em uma estrutura tetrada no espaço-tempo, da qual pode se obter tanto a descrição remanniana quanto a teleparalela da gravitação. No caso teleparalelo, ela leva à definição natural de uma conexão, a conexão de Weitzenböck, que é a utilizada no teleparalelismo. Essa conexão apresenta apenas torção, que no caso de uma partícula de massa m aparece como uma força em sua equação de movimento. Isso não acontece na relatividade geral, onde a trajetória de uma partícula é descrita por uma geodésica.

O teleparalelismo foi utilizado por vários cientistas na tentativa de solucionar problemas

advindos da relatividade geral. Um deles é o problema da densidade de energia-momento do campo gravitacional. Na relatividade geral, esta é necessariamente descrita por um pseudo-tensor. Porém, no contexto do teleparalelismo, é possível achar uma auto-corrente de *gauge*, associada ao pseudo-tensor de energia momento usual, que se transforma como um tensor de espaço-tempo e de *gauge* verdadeiro.

O teleparalelismo aparece, portanto, como uma forma de estudar e entender fenômenos não explicados no contexto da relatividade geral. É um campo de pesquisa promissor, com desenvolvimentos ocorrendo ainda na atualidade.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, V. C. de; GUILLEN, L. C. T.; PEREIRA, J. G. *Gravitational Energy-Momentum Density in Teleparallel Gravity*. 2000. <<https://arxiv.org/pdf/gr-qc/0003100.pdf>>. [Acessado em 09/11/2019]. 19, 20

ANDRADE, V. C. de; PEREIRA, J. G. *Gravitational Lorentz Force and the Description of the Gravitational Interaction*. 1997. <<https://arxiv.org/pdf/gr-qc/9703059.pdf>>. [Acessado em 03/11/2019]. 3, 11, 12, 13, 17

ANDRADE, V. C. de; PEREIRA, J. G. *Riemannian and Teleparallel Descriptions of the Scalar Field Gravitational Interaction*. 1997. <<https://arxiv.org/pdf/gr-qc/9706070.pdf>>. [Acessado em 08/11/2019]. 18

ANTONY, L. *Ficheiro:Parallel_transport.png*. 2006. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Parallel_transport.png>. [Acessado em 30/09/2019]. 15

BATTERMAN, R. W. *The Oxford Handbook of Philosophy of Physics*. [S.l.]: Oxford University Press, 2013. 3

BOSSO, P. *Generalized Uncertainty Principle and Quantum Gravity Phenomenology*. 2017. <<https://arxiv.org/pdf/1709.04947.pdf>>. [Acessado em 29/07/2018]. 2

BURGESS, C. P. *Quantum Gravity in Everyday Life: General Relativity as an Effective Field Theory*. 2003. <<https://arxiv.org/abs/gr-qc/0311082>>. [Acessado em 23/07/2018]. 2

CARROLL, S. *Spacetime and Geometry - An Introduction to General Relativity*. [S.l.]: Addison Wesley, 2004. 14

DUFF, M. J. *M-Theory (the Theory Formerly Known as Strings)*. 1996. <<https://arxiv.org/abs/hep-th/9608117>>. [Acessado em 14/02/2020]. 3

JAKOB. *Fiber Bundles*. 2018. <https://physicstravelguide.com/advanced_tools/fiber_bundles>. [Acessado em 18/10/2019]. 4

KALUZA, T. *On the Unification Problem in Physics*. 1921. <<https://arxiv.org/abs/1503.03695>>. [Acessado em 14/02/2020]. 3

- KASUGAHUANG. *File:Torsion along a geodesic.svg*. 2007. <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Torsion_along_a_geodesic.svg>. [Acessado em 07/11/2019]. 15
- MALUF, J. W.; ROCHA-NETO, J. F. da. Hamiltonian formulation of general relativity in the teleparallel geometry. *Physical Review D*, v. 64, 09 2001. Disponível em: <<https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.64.084014>>. Acesso em: 11 nov. 2019. 3, 10
- MALUF, J. W.; ROCHA-NETO, J. F. da; ULHOA, S. C. *Bondi-Sachs energy-momentum and the energy of gravitational radiation*. 2015. <<https://arxiv.org/abs/1503.03695>>. [Acessado em 14/02/2020]. 3
- PEREIRA, J. G.; ALDROVANDI, R. *An Introduction to Geometrical Physics*. [S.l.]: World Scientific, 1995. 7
- PEREIRA, J. G.; ALDROVANDI, R. *An Introduction to Teleparallel Gravity*. 2010. <<http://www.ift.unesp.br/users/jpereira/classnotes.html>>. [Acessado em 22/03/2019]. 2, 3
- PEREIRA, J. G.; ALDROVANDI, R. *Teleparallel Gravity - An Introduction*. [S.l.]: Springer, 2013. 4, 7
- ROVELLI, C. *Loop Quantum Gravity*. 1997. <<https://arxiv.org/abs/gr-qc/9710008>>. [Acessado em 14/02/2020]. 3
- SCHWARZ, J. H.; SEIBERG, N. *String Theory, Supersymmetry, Unification, and All That*. 1998. <<https://arxiv.org/abs/hep-th/9803179>>. [Acessado em 14/02/2020]. 3
- SCHWICHTENBERG, J. *Physics from Symmetry*. [S.l.]: Springer, 2018. 4, 5, 6
- UNZICKER, A.; CASE, T. *Translation of Einstein's Attempt of a Unified Field Theory with Teleparallelism*. 2005. 1-3 p. <<https://arxiv.org/pdf/physics/0503046.pdf>>. [Acessado em 10/06/2019]. 3



Usando *smartphones* para medir a variação do índice de refração da gasolina com diferentes concentrações de etanol

Using *smartphones* to measure the variation of the gasoline refraction index with different ethanol concentrations

YURI ALEXANDRE MEYER^{1,2}, JOSÉ GERALDO PENA DE ANDRADE^{1,2},
EDIVALDO LUIS DE SOUZA², BEATRIZ FUGAGNOLLI GIACON², ENRICO
FRANÇA MORAES², ENZO GAVA², GABRIELA AMADIO², THEODOR ERIK
KEMPTER², VITÓRIA LUIZ DIOTTO²

¹Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

²Colégio Prof.^a Jandyra Antunes Rosa (Limeira-SP)

Resumo

O presente trabalho, caracterizado como uma Iniciação Científica Júnior (ICJ), permitiu que estudantes do Ensino Médio tivessem um primeiro contato com o conhecimento científico. Caracteriza-se, principalmente, por ser um projeto interdisciplinar entre a Química e a Física. A pesquisa realizada apresenta uma nova metodologia que concilia a variação da concentração de etanol na gasolina com a variação dos índices de refração dos meios através do uso de um béquer e um cano, e tirando diversas fotos com *smartphones* (para cada concentração). O índice de refração é determinado através do tamanho dos diâmetros da parte real do tubo (fora do béquer) e da parte que está mergulhada na solução. Na realização do trabalho experimental, a partir da análise de amostras de gasolina pura com diferentes concentrações de etanol pré-definidas, foram obtidos valores de diferentes índices de refração e, ao plotar os dados, foi possível observar um comportamento não linear. Além desse comportamento matemático, o experimento permite, a partir dos dados, analisar a refração molar.

Palavras-chave: Ensino de Física, Ensino de Química, Refração, Smartphones.

Abstract

The present work, characterized as a Junior Scientific Initiation (ICJ), allowed high school students to have the first contact with scientific knowledge SI. It is mainly characterized by an interdisciplinary project between Chemistry and Physics. The research presents a new methodology that reconciles the variation of ethanol concentration in gasoline with the variation of refraction

indices of the media through the use of a Bequer and a PVC Pipe, and taking several pictures with smartphones (for each concentration). The refraction index is determined by the size of the diameters of the real part of the tube (outside the Bequer) and the part that is immersed in the solution. In the experimental work, from the analysis of pure gasoline samples with different predefined concentrations of ethanol, values of different refraction indexes were obtained, and when plotting the data, it was possible to observe a behavior not Linear. In addition to this mathematical behavior, the experiment allows, from the data, to analyze factors such as molar refraction

Keywords: *Physics Teaching, Chemistry Teaching, Refraction, Smartphones.*

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preocupação com novas formas de metodologia de ensino de Ciências deu início a um debate importante, uma vez que a experimentação é a base do ensino destas disciplinas, afinal "*no ensino de Ciências, podemos destacar a dificuldade do aluno em relacionar a teoria desenvolvida em sala com a realidade a sua volta*"(Reginaldo et al 2009). E, ainda, conforme destaca Bueno et al. 2007: "*qualquer ciência (Física, Biologia etc) progride através da chamada atividade científica ou pesquisa científica ou método científico de trabalho uma vez que é uma troca irreduzível entre o experimento e a teoria e, assim, a separação total entre o experimento e a teoria não é desejável e nem possível*".

Deste modo, como forma de ampliar o conhecimento e a compreensão de conceitos e, ainda, permitir o desenvolvimento da Ciência frente às novas perspectivas de disseminação do conhecimento, é indispensável que haja no Ensino Médio projetos que instiguem a curiosidade dos educandos, uma vez que "*a realização de experimentos, em Ciências, representa uma excelente ferramenta para que o aluno faça a experimentação do conteúdo e possa estabelecer a dinâmica e indissociável relação entre teoria e prática*"(REGINALDO et. al 2009). Neste mesmo sentido, Bueno et. al (2007) frisa a necessidade do trabalho experimental para a consolidação teórica: não havendo uma articulação entre os dois tipos de atividades, isto é, a teoria e a prática, os conteúdos não serão muito relevantes à formação do indivíduo ou contribuirão muito pouco ao desenvolvimento cognitivo. Neste sentido, destaca-se a importância da promoção de um ensino que torne o educando mais crítico, já que a criticidade

se torna relevante à medida em que evidencia a importância, em dias atuais, de proporcionar ao educando condições para a construção de conhecimentos numa perspectiva de criticidade, de perceber o que é relevante para a sua participação efetiva num mundo em constante e acelerada transformação de conceitos e valores (PAULO E MOREIRA, 2004).

Em um trabalho publicado por Rauber et.al (2017), mais especificamente em sua conclusão, mostra-se que a experimentação é a ferramenta que contribui para a consolidação do aprendizado teórico e desperta interesse no tema estudado, uma vez que:

Pode-se concluir que as atividades realizadas, ao longo desta pesquisa, aguçaram o interesse dos participantes pelas Ciências Exatas, bem como possibilitaram a construção de diversos conhecimentos sobre conteúdos de Física, Química e Matemática. A experimentação investigativa estimulou a criatividade, o trabalho em grupo e o raciocínio lógico dos discentes por meio da manipulação, observação, análise e formulação de hipóteses, levando-os a estabelecer conexões entre os elementos teóricos e práticos de cada conteúdo. Com isso, acredita-se ter contribuído para a formação de alunos investigadores, formadores ativos de seu próprio conhecimento (RAUBER, QUARTIERI E DULLIUS, 2017).

Consideramos a necessidade de promover um ensino que esteja centrado na verdadeira essência da Ciência, isto é, através da experimentação, e, ainda, incentivar a formação de alunos nas áreas acadêmicas, uma vez que o despertar acadêmico começa no ensino básico. Por consequência, o presente trabalho foi concebido na forma de um programa de Iniciação Científica Júnior (ICJ) com alunos do Ensino Médio tradicional. O tema escolhido esteve centrado na questão de adulteração de combustíveis comerciais em postos de gasolina, assunto reportado constantemente pelas mídias, o que permitiu a aproximação dos alunos com um problema do cotidiano, visto que:

Um dos maiores desafios do uso de aulas práticas no ensino de Química na Educação Básica é construir um elo entre o conhecimento ensinado e o cotidiano dos alunos. A ausência de conexão entre o conteúdo passado em sala de aula e o dia-a-dia pode justificar a indiferença entre os alunos e também em relação aos próprios professores quando do uso da experimentação (SCHWAHN E OAIGEN, 2009).

Trata-se, sobretudo, de um projeto interdisciplinar entre a Química e a Física. Propõe-se, neste trabalho, um método de baixo custo e de fácil reprodutibilidade para o estudo da relação entre a variação de etanol na gasolina e os respectivos valores de índice de refração. Sendo assim, é possível estabelecer uma associação de conceitos da Química (diluição e estudo da Química de combustíveis) com a Física (estudo da dioptria) através de uma prática experimental associada a um tema do cotidiano do aluno.

O objetivo central deste trabalho, além das questões mencionadas às práticas experimentais, é proporcionar uma vivência acadêmica aos alunos, permitindo que eles possam criar uma consciência científica já no Ensino Médio. Neste âmbito, o trabalho foi desenvolvido seguindo os mesmos modelos de uma iniciação científica de graduação, ou seja: discussão do tema através de reuniões periódicas, elaboração dos procedimentos experimentais, interpretação dos resultados e discussões periódicas.

II. ASPECTOS TEÓRICOS

I. Refração

A refração é um assunto bastante abordado nas aulas de Física do Ensino Médio. Ela consiste no fenômeno físico da alteração da velocidade da luz quando ela passa de um

meio para o outro e, conseqüentemente, do comprimento de onda dela. Pela Lei de Snell-Descartes, a passagem de um meio para o outro também altera a trajetória do raio de luz. A relação entre a mudança de velocidade da luz é dada pelo índice de refração (n) do material. O índice de refração é eficaz para mensurar a concentração de materiais e provar a estrutura de um composto.

Para medir o índice de refração de líquidos, de um modo mais simplificado, pode-se basear, conforme destaca Lopes e Aguiar (2013), na concepção "bastante corriqueira, de que objetos imersos na água parecem maiores", conforme é destacado na figura abaixo:

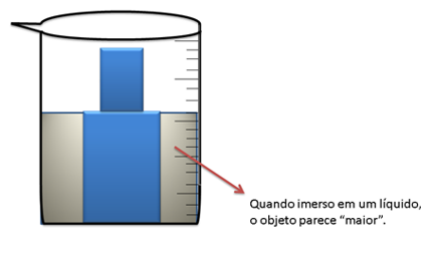


Figura 1: Representação do processo de refração observado quando um objeto está imerso em um líquido. Fonte: dos autores, 2019.

O método bastante simples apresentado por Lopes e Aguiar (2013) consiste no seguinte desenvolvimento matemático através da observação da figura abaixo:

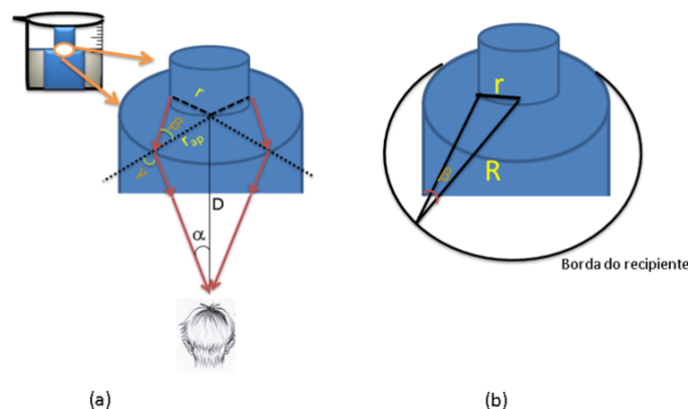


Figura 2: (a) Representação esquemática tridimensional do fenômeno observado, com indicação geométrica onde r representa o raio do objeto, r_{ap} é o raio aparente (da imagem), D é a distância até o observador e β e γ representam os ângulos de incidência e de refração respectivamente. (b) Representação tridimensional simplificada que representa a relação do fenômeno com a borda do recipiente, onde r é o raio do cano colocado no centro do béquer, R é o raio do centro do objeto à borda. Fonte: dos autores, 2019.

A partir da figura anterior é fácil perceber que:

$$r_{ap} = D \operatorname{sen} \alpha \quad (1)$$

$$r = n \operatorname{sen} \beta \quad (2)$$

A partir da figura anterior é fácil perceber que:

$$\operatorname{sen} \gamma = n \operatorname{sen} \beta \quad (3)$$

Onde n é o índice de refração do líquido, em relação ao ar.

Deste modo o fator de ampliação pode ser determinado:

$$\frac{r_{ap}}{r} = \frac{D \operatorname{sen} \alpha}{R \operatorname{sen} \beta} = n \frac{D \operatorname{sen} \alpha}{R \operatorname{sen} \gamma} \rightarrow \frac{\operatorname{sen} \alpha}{R} = \frac{\operatorname{sen} \gamma}{D} \quad (4)$$

Assim, obtém-se que:

$$\frac{r_{ap}}{r} = n \quad (5)$$

Assim, conforme demonstrado, a razão entre os tamanhos aparentes e reais fornecem o valor do índice de refração do líquido. Deste modo, tem-se uma forma simples para determinar o valor do índice de refração. Tirando fotos do sistema, pode-se, então, fazer as medidas dos tamanhos aparentes e reais com auxílio, por exemplo, do PowerPoint. Neste software, basta clicar em "Página Inicial" e escolher, dentre os caracteres disponíveis, a "seta". Ao desenhá-la, para obter seu tamanho, basta clicar duas vezes em cima dela.

II. Refração Molar

Uma propriedade utilizada para a caracterização das propriedades físico-químicas de misturas é o uso do conceito de Refração Molar. De posse do índice de refração, bem como a densidade do composto, pode-se provar a natureza química da estrutura de um novo composto, usando o conceito de refratividade específica (r), definida pela equação Lorentz-Lorentz:

$$r = \left[\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right] \cdot \frac{1}{\rho} \quad (6)$$

Onde r corresponde a refratividade específica, n é o índice de refração e ρ é a densidade. A unidade da refratividade molar é dada em cm^3/g .

Para compostos simples, pode-se dizer que a soma das refrações dos grupos é a refração molar (R_m) do composto com razoável exatidão. É importante notar que a refração molar depende da quantidade e da natureza dos átomos presentes, bem como das características das ligações. Assim, pode ser expressa por:

$$R_m = r \cdot M \quad (7)$$

Onde: M corresponde à massa Molar e R será em cm^3

III. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Primeiramente, realizou-se um processo de partição no qual se extraiu o etanol da gasolina coletada para testes, com o auxílio de uma solução saturada de cloreto de sódio (NaCl), para que houvesse a separação entre os líquidos, garantindo assim a extração de gasolina pura. A solução foi preparada em uma proveta volumétrica e o NaCl dissolvido em água foi introduzido por meio de uma pipeta graduada com auxílio de uma pera de sucção.

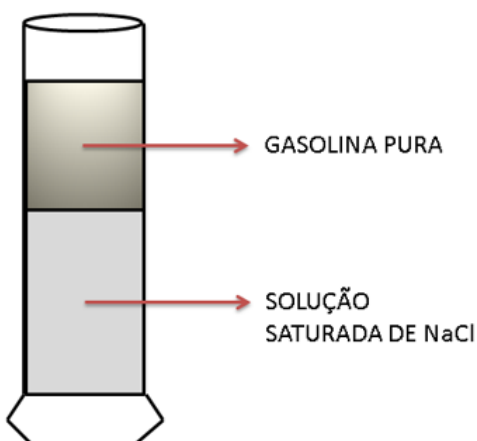


Figura 3: Representação esquemática do processo de separação do etanol da amostra comercial de gasolina. Fonte: dos autores, 2019.

Após a obtenção da gasolina pura, o procedimento envolveu a utilização de um cano de PVC cujo diâmetro pode ser facilmente obtido com auxílio de uma régua ou paquímetro. Assim, ao adicionar a gasolina, fotos foram tiradas para a análise em PowerPoint da variação do diâmetro do cano na imagem. Deste modo, para cada volume de etanol adicionado à gasolina foi tirada uma foto. A figura a seguir representa o procedimento experimental.

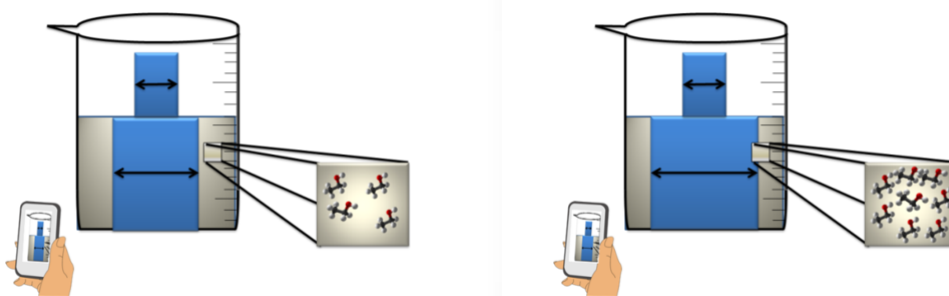


Figura 4: Representação esquemática da dioptria óptica do cano de PVC em duas amostras com diferentes percentuais de etanol na gasolina. Nota-se que o aumento na concentração de etanol favorece um aumento na imagem do cano. Fonte: dos autores, 2019.

De posse das fotos tiradas para cada concentração de etanol adicionado na gasolina, elas

foram abertas no PowerPoint e as medidas do diâmetro real do cano e da imagem foram realizadas com a ferramenta de auto formas (escolha da seta com duas cabeças). A medida é dada pelo próprio programa, ao clicar duas vezes na seta. Abre-se uma caixa no canto superior direito com as medidas. As imagens abaixo ilustram o processo.

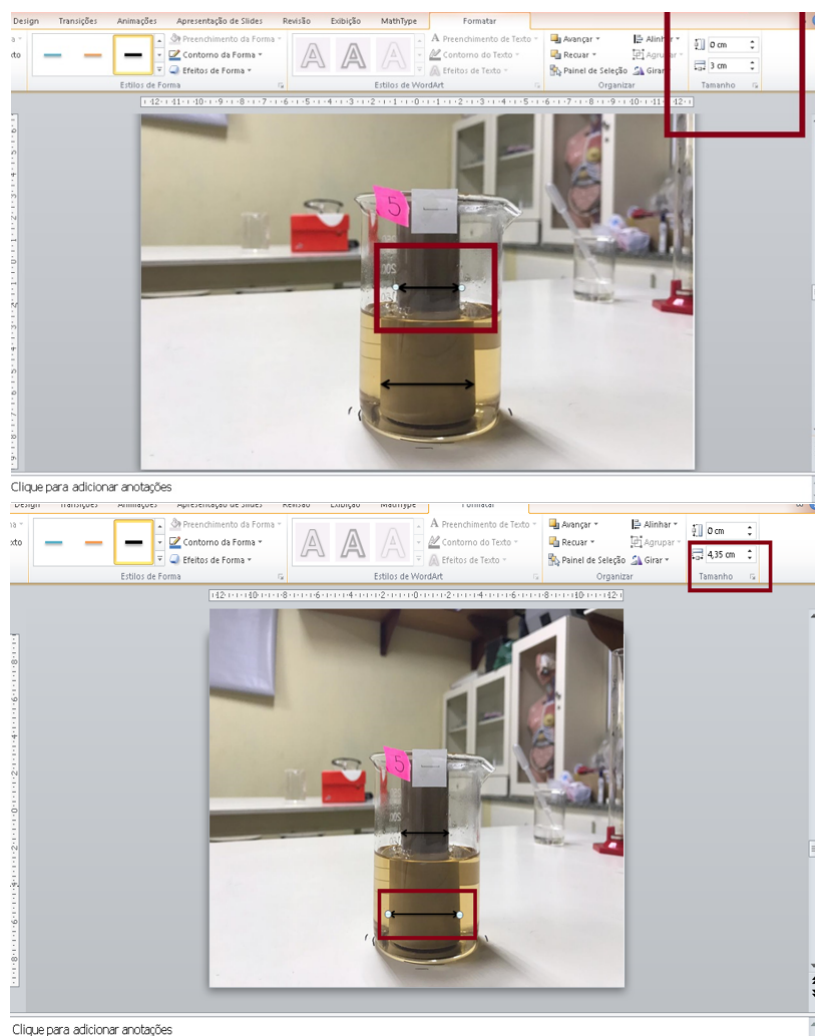


Figura 5: "Print Screen" da tela mostrando o procedimento realizado no PowerPoint para a medida dos diâmetros reais (a) e da imagem (b). O cálculo do índice de refração é realizado conforme descrito na equação 5, bastando fazer a divisão dos valores dados (com duplo clique na seta preta) para a parte real e aparente na foto. Fonte: dos autores, 2019.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando as imagens obtidas com auxílio da câmera do smartphone, para cada amostra (diferentes valores de etanol), e medindo-se os respectivos índices de refração, foi possível obter as seguintes tabelas, respeitando-se a questão da verificação experimental em triplicata. Cada medida corresponde ao trabalho de um determinado aluno.

Tabela 1: Primeira medida experimental.

Gasolina (ml)	Etanol (ml)	Concentração	Real (cm)	Imagem (cm)	n
50,00	25,00	0,50	2,00	2,87	1,43
50,00	27,00	0,54	2,00	2,90	1,45
50,00	33,00	0,66	2,00	2,96	1,48
50,00	43,00	0,86	2,00	3,01	1,50

Tabela 2: Segunda medida experimental.

Gasolina (ml)	Etanol (ml)	Concentração	Real (cm)	Imagem (cm)	n
50,00	00,00	0,00	2,00	3,00	1,50
50,00	5,00	0,10	2,00	3,06	1,53
50,00	20,00	0,40	2,00	3,10	1,55
50,00	27,00	0,54	2,00	3,12	1,56

Tabela 3: Terceira medida experimental.

Gasolina (ml)	Etanol (ml)	Concentração	Real (cm)	Imagem (cm)	n
50,00	25,00	0,50	2,00	2,80	1,40
50,00	33,00	0,66	2,00	2,90	1,45
50,00	39,00	0,78	2,00	2,96	1,48
50,00	43,00	0,86	2,00	3,00	1,50

De posse dos resultados mostrados nas tabelas anteriores, e com ajuda do software comercial Origin 8.0, os gráficos foram plotados:

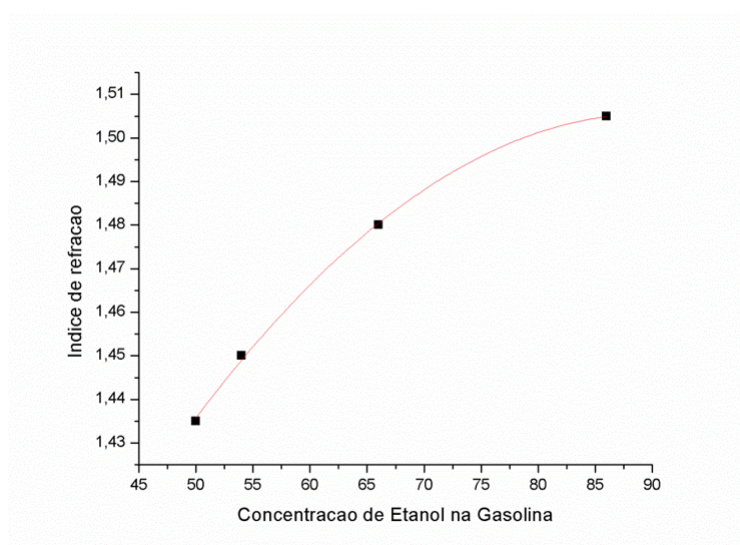


Figura 6: Gráfico da relação entre a concentração de etanol na gasolina e a variação do índice de refração da primeira medida experimental. Fonte: dos autores, 2019.

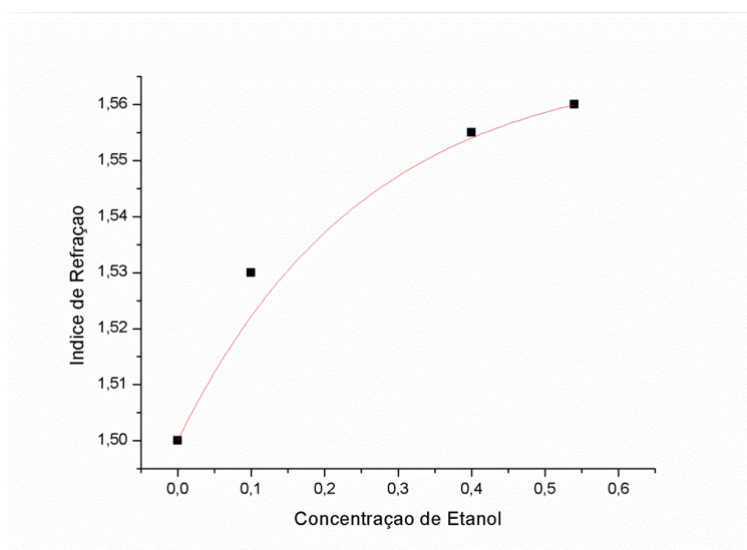


Figura 7: Gráfico da relação entre a concentração de etanol na gasolina e a variação do índice de refração da segunda medida experimental. Fonte: dos autores, 2019.

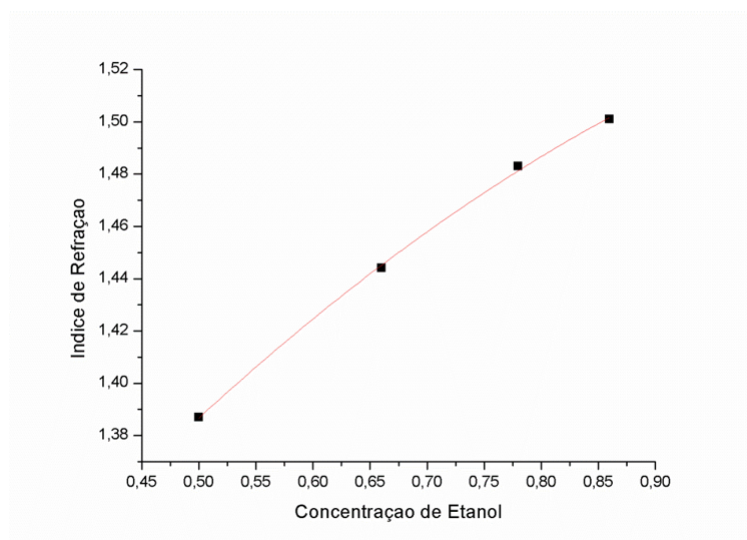


Figura 8: Gráfico da relação entre a concentração de etanol na gasolina e a variação do índice de refração da terceira medida experimental. Fonte: dos autores, 2019.

Observando-se os gráficos plotados é fácil notar que existe uma relação não linear entre a variação da concentração de etanol e o índice de refração, conforme era esperado (ZHANG et. al. 2014; FALATE et al 2005). Deste modo, pode-se mostrar aos alunos que existe uma dependência matemática não linear entre a concentração e a variação do índice de refração das amostras. Esta variação do índice de refração está relacionada ao conceito de refratividade específica, conforme apresentado na sessão teórica deste trabalho. Nota-se que o terceiro gráfico difere dos dois primeiros, mas ainda assim foi possível realizar um ajuste matemático igual aos dois primeiros.

Como exemplificação dos cálculos teóricos apresentados (equações 6-8), pode-se estimar os seguintes resultados, apresentados em um formato mais didático:

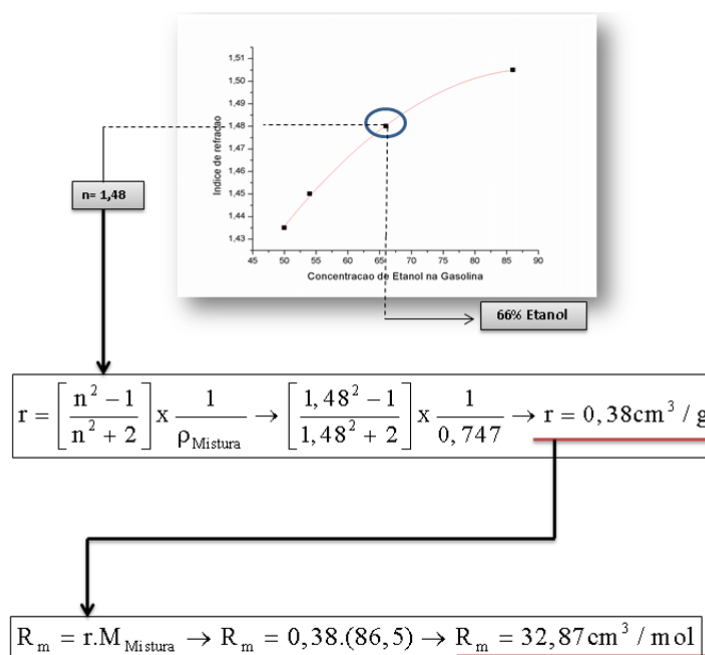


Figura 9: Representação da manipulação de dados, de forma didática, para possibilitar o entendimento dos alunos. Fonte: dos autores, 2019.

Em relação aos valores utilizados no cálculo apresentado na Figura 9, foi usado como referência o trabalho desenvolvido por Carvalho e Filho (2013). Neste trabalho, os pesquisadores coletaram diversas amostras de gasolina Tipo A comercializadas no Brasil de acordo com a norma ASTM D 4057, e realizaram análises em triplicata por cromatografia gasosa utilizando um detector de ionização de chamas (CG-FID), tendo encontrado 222 compostos diferentes em sua composição, com predominância de hidrocarbonetos, sendo listados os 20 hidrocarbonetos em maiores concentrações nas amostras analisadas. A partir destes dados determinou-se a massa molar média ponderada, sendo igual a 86,5 g.mol⁻¹. Por sua vez, de acordo com a resolução ANP N° 40 DE 25/10/2013, sabe-se que a gasolina tipo A apresenta massa específica entre 0,71 a 0,78 g.cm⁻³ e a massa específica do etanol é igual a 0,78 g.cm⁻³. Assim, foi considerado para efeitos demonstrativos dos cálculos da figura 9, um valor igual a 0,72 g.cm⁻³. Finalmente, admitindo-se a mistura constituída por 66% de gasolina Tipo A e 34% de etanol, foi determinada a massa específica por média ponderada da amostra utilizada neste trabalho, chegando a um valor igual a 0,747 g.cm⁻³. Segundo Wadekar et al (2015) o valor da refração molar para o etanol é igual a aproximadamente 12,57 cm³ / mol. Assim, o valor encontrado (Figura 9) diverge deste valor por se tratar de uma mistura com a gasolina, onde foram considerados os valores citados anteriormente.

CONCLUSÃO

O presente trabalho cumpriu os objetivos de uma Iniciação Científica Júnior, conforme são destacadas as conclusões a seguir:

- Os alunos tiveram contato com o método científico, uma vez que realizaram os procedimentos experimentais referentes à disciplina de Química e Física, sempre buscando aliar a prática aos objetivos centrais (medidas de diferentes índices de refração para cada percentual de etanol adicionado à amostra de gasolina pura).
- Foi proposto um modo muito simples para fazer a medição da variação do índice de refração, ou seja, através de fotos e tratamento das imagens no software comercial PowerPoint.
- De posse dos valores obtidos para cada índice de refração, os dados foram tratados no programa comercial Origin 8.0, obtendo-se uma relação matemática não linear entre a concentração de etanol e respectivos valores dos índices de refração. Os gráficos apresentaram comportamento semelhante ao esperado pela teoria.
- Considerando-se um aspecto mais avançado, o trabalho ainda possibilitou mostrar aos alunos cálculos estimados da refração molar e da refração molar (fig. 9). É importante destacar que os valores são aproximados e, assim, os cálculos têm o intuito de mostrar aos alunos a possibilidade de obtenção desses parâmetros a partir da técnica proposta neste trabalho.
- Resolvemos colocar na forma de apêndice os depoimentos dos alunos que participaram deste projeto. Vale destacar que o trabalho aproximou os alunos do ambiente universitário, mais especificamente da pesquisa científica. Apresentaram o trabalho no SIMPEQ (Simpósio dos Profissionais de Ensino de Química da UNICAMP, em Outubro de 2018), e no Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP, em Outubro de 2019).

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. da S.; VIANA, K. da S. L. Atividades experimentais no ensino da química: distanciamentos e aproximações da avaliação de quarta geração. *Ciênc. Educ.*, Bauru, v. 23, n. 2, p. 507-522, 2017.

BUENO, L. et al. *O ensino de química por meio de atividades experimentais: a realidade do ensino nas escolas*. Universidade Estadual Paulista, 2007. Acesso em 17 de jun., 2019, unesp.br/prograd/ENNEP/...%2520Encontro%2520de%2520Ensino/T4.pdf.

CARVALHO, F. I.; FILHO, H. A. D. Estudo da qualidade da gasolina tipo A e sua composição química empregando análise de componentes principais, *Quim. Nova*, V. 37, pg. 33-38, 2014.

FALATE, R. et al. Fiber optic sensors for hydrocarbon detection. *Sensors and Actuators B*, vol. 105, pp. 430-436, 2005.

LOPES, E. B.; AGUIAR, C. E. Um método simples para medir o índice de refração de

líquidos. *XX Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2013 – São Paulo, SP*, pg.1-6, 2013.

PAULO, I. J. C.; MOREIRA, M. A. Abordando Conceitos Fundamentais de Mecânica Quântica no nível médio. *Revista da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Bauru - São Paulo, v. 4, p. 63 – 73, 2004.

RAUBER, A. G.; QUARTIERI, M. T.; DULLIUS, M. M. Contribuições das atividades experimentais para o despertar científico de alunos do ensino médio. *R. bras. Ens. Ci. Tecnol.*, Ponta Grossa, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2017.

REGINALDO, C. C.; SHEID, N. J.; GÜLLICH, R. I. da C. O ensino de ciências e a experimentação. *IX ANPED SUL - Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul*, pg. 1-13, 2012.

SCHWAHN, M. C. A.; OAIGEN, E. R. Objetivos para o uso da experimentação no ensino de química: a visão de um grupo de licenciandos. *VII Enpec Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências*, Florianópolis, 8 nov. 2009. Acesso em 20 jun., 2019, posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viipec/pdfs/933.pdf.

WADEKAR, M. P. et al. Refractive index, density, molar refraction and polarizability constant of substituted-2,3-dihydroquinazolin-4(1H)-ones in different binary mixture. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, v.7, pg. 242-248, 2015.

ZHANG, T. et al. A single-element interferometer for measuring refractive index of transparent liquids. *Optics Communications*, v.332, pg. 14–17, 2014.

APÊNDICE - DEPOIMENTOS DOS ALUNOS PARTICIPANTES DA ICJ

Aluno 1: "Sou muito grata por ter tido a oportunidade de participar da Iniciação Científica Júnior, um projeto muito intrigante, pois aumentou meu interesse na área experimental das ciências exatas, fazendo-me ver na prática o real significado de fórmulas e teorias. A interdisciplinaridade abordada na Iniciação foi algo muito oportuno, porque pude ver o quanto as áreas do conhecimento trabalham juntas e dependem umas das outras. Além disso, o projeto nos mostra a importância do trabalho em equipe e nos aproxima de parte do mundo universitário que deveria ser trabalhado desde cedo no Ensino Médio, pois assim entraríamos na faculdade já com a experiência de ter um artigo científico redigido pelos próprios alunos, experiência essa que estou tendo e reconheço a importância, além de ser incrível o contato com a pesquisa e métodos científicos na escola".

Aluno 2: "Este projeto de Iniciação Científica Júnior vem sendo uma etapa muito importante para minha escolha acadêmica, pois nela entrei em contato com os métodos de pesquisa utilizados pelas universidades. Além disso, o projeto fez com que eu expandisse a minha noção sobre os estudos na física e como um bom trabalho em equipe pode gerar grandes resultados, mesmo que realizado por alunos do Ensino Médio que não apresentam experiência na área".

Aluno 3: "Os experimentos realizados na Iniciação Científica Júnior foram de suma importância para meu aprendizado científico e integração interdisciplinar. Analisamos os dados obtidos pelas pesquisas com o auxílio do professor, mas sempre desenvolvendo nosso pensamento crítico e capacidade de raciocínio, escrevendo nosso próprio artigo. Além disso, discutimos sobre o impacto do nosso projeto no mundo, o qual poderá facilitar análises de concentrações. Foi uma experiência incrível e que contribuirá para a nossa formação profissional e individual".

Aluno 4: "Para mim a iniciação foi uma experiência inédita, pois ter uma experiência dessas no Ensino Médio despertou minha curiosidade para conhecer sobre o método científico e me fez descobrir que ainda hoje existem coisas que precisam ser descobertas, além disso proporciona uma aplicação do conteúdo que aprendemos em sala de aula".

Aluno 5: "Gostei muito de participar da IC Jr, pois foi uma experiência única em minha vida. Nela consegui ver e aprender como é realmente uma IC de uma Faculdade, e podendo contar sempre com a ajuda de meus orientadores. A parte que mais me interessou dentro da mesma foi a experimentação, porque consegui ter a vivência de como é fazer um experimento fora da sala de aula de um colégio e tendo que lidar com situações e problemas. Levarei esse aprendizado para o resto de minha vida".

Aluno 6: "Minha experiência com a iniciação científica foi excelente, pois é possível aprendermos coisas novas com as melhores pessoas para te ensinarem isso. Com isso já podemos ter em mente o que podemos fazer para melhorar o mundo e como fazer. Recomendo a todos e apoio todos que queiram fazer uma iniciação científica".



Uma sequência didática de física: leis da termodinâmica, máquinas térmicas e máquinas frigoríficas

A didactic sequence of physics: laws of thermodynamics, thermal machines and coldstorage machines

FÁBIO LOMBARDO EVANGELISTA*¹, KELLEY CRISTINA SCHUMACKER¹,
GILMAR DE OLIVEIRA VELOSO¹

¹IFC

Resumo

Este trabalho ocorreu no Instituto Federal Catarinense, Campus Concórdia, na turma de segundo ano do curso Técnico em Alimentos Integrado ao Ensino Médio. O estágio ocorreu em duas partes; uma de docência, com cinco semanas (10 horas-aula), e outra de oficina didática, com duas semanas (4 horas-aula). Os conteúdos abordados, sob uma perspectiva da Aprendizagem significativa de David Ausubel, foram as Leis da Termodinâmica, Máquinas térmicas e Máquinas frigoríficas, conteúdos estes trabalhados a partir do plano de ensino curricular. Utilizou-se para isso a modelagem matemática, simulações virtuais no PHET Colorado e materiais de baixo custo. O estágio permitiu observar a relação teoria-prática, tornando possível levar para a sala de aula metodologias diversificadas. Também foi possível perceber a contribuição para uma aprendizagem significativa. Os alunos demonstraram interesse na proposta de ensino apresentada durante as aulas.

Palavras-chave: Ensino de Física, Aprendizagem significativa, Modelagem matemática, Simulador computacional, Experimentos de baixo custo

Abstract

This work was carried out at the Federal Institute of Santa Catarina, Campus Concordia, in the second year of the Technical Course on Food Integrated to High School. The stage took place in two parts; one of teaching, with five weeks (10 classroom hours), and another of didactic workshop, with two weeks (4 classroom hours). The contents addressed, from a perspective of the Meaningful Learning of David Ausubel, were the Laws of Thermodynamics, Thermal Machines and Refrigerating Machines, contents that are worked out from the curricular teaching plan. Mathematical modeling, virtual simulations in PHET Colorado and lowcost materials were

*fabio.evangelista@ifc.edu.br

used for this. The stage allowed observing the theory-practice relationship, making it possible to bring diversified methodologies to the classroom. It was also possible to see the contribution to meaningful learning. The students showed an interest in the teaching proposal presented during the classes.

Keywords: *Physics Teaching, Significant Learning, Mathematical Modeling, Computational Simulator, Low Cost Experiments.*

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho ocorreu no Instituto Federal Catarinense-Campus Concórdia, no segundo ano, de um total de três, dos cursos técnicos em Agropecuária, Informática e de Alimentos, todos integrados ao ensino médio. A instituição possui laboratórios de física e de informática, entre outros, possibilitando assim boas condições para os professores desenvolverem aulas diferenciadas.

O período de aplicação foi durante os meses de setembro e outubro do ano de 2018, com sete semanas de aplicação, cinco de docência e duas de oficinas didáticas aplicadas.

A turma é composta por trinta e cinco alunos, onde predomina o sexo feminino, com um perfil competitivo e participativo. É importante salientar que nesta turma ainda não houve reprovações e a maioria dos alunos são engajados nos estudos visando aprovação no ENEM e demais vestibulares. As aulas ocorreram na sala de aula da turma e no laboratório de informática da escola.

O objetivo foi contribuir para uma aprendizagem significativa para os alunos com o auxílio da experimentação de baixo custo, simulações computacionais e a utilização da modelagem matemática. Desta forma, procurou-se envolver os estudantes num ambiente pedagógico capaz de visualizar e descrever os fenômenos através de experimentos simples e simulações numéricas com o PHET Colorado, procurando instigar o estudante a fazer perguntas, estimulando o desenvolvimento de uma visão mais ampla e aplicada dos conteúdos estudados.

O uso da modelagem matemática surge com alternativa para compreender os processos envolvidos no funcionamento de um ar condicionado e sua instalação na sala de aula. O compreender de forma prática os processos que envolvem a termodinâmica, dá sentido ao cálculo de carga térmica, neste caso do ar condicionado, auxiliando no entendimento de conceitos relacionados com o cotidiano.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

I. Aprendizagem Significativa

A aprendizagem significativa é aquela cuja interação ocorre a fim de formar uma nova informação a partir de uma ideia prévia que o indivíduo já possui. Significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. Ou seja, o estudante vai

utilizar de conhecimentos já relevantes em sua estrutura cognitiva para conseguir assimilar uma nova ideia, ou conceitos aprendidos (MOREIRA, 2011).

Segundo Pelizzari et al (2002), para que a aprendizagem significativa ocorra é preciso entender um processo de modificação do conhecimento do aluno, e reconhecer a importância que os processos mentais têm nesse desenvolvimento, levando em consideração o tempo de cada aluno conseguir chegar nessa modificação.

Este conhecimento que o indivíduo já possui é o que chamamos de subsunçor ou ideia-âncora. Subsunçor é o nome dado a um conhecimento específico, que já existe na estrutura cognitiva do indivíduo, e que permite dar significado a um novo conhecimento. Ou seja, são conhecimentos prévios relevantes na aprendizagem de novos conhecimentos (MOREIRA, 2011).

Podemos encontrar dois tipos de aprendizagem significativa: a superordenada e a subordinada. Na superordenada, uma nova ideia passa a subordinar os conhecimentos prévios já existentes. Já na subordinada uma nova ideia adquire significado através de uma ancoragem entre algum conhecimento prévio relevante. Essa é a maneira mais típica de aprendizagem significativa (MOREIRA, 2011).

Para Moreira (2011), a aprendizagem significativa é muito valiosa no ambiente escolar, porém a aprendizagem que é mais vista nesse ambiente é a aprendizagem mecânica, ocorre sem significado, pois trabalha com a pura memorização, e serve apenas para as provas, pois é facilmente esquecida em pouco tempo. A passagem da aprendizagem mecânica, para a significativa não é um processo natural. Além de demandar tempo, exige uma atenção e dedicação do professor, mas isso, influencia em bons resultados na aprendizagem, pois bem trabalhado o professor, consegue transformar a aprendizagem mecânica em aprendizagem significativa (MOREIRA, 2011).

Para haver aprendizagem significativa são necessárias duas condições. Em primeiro lugar, o aluno precisa ter uma disposição para aprender: se o indivíduo quiser memorizar o conteúdo arbitrariamente e literalmente, então a aprendizagem será mecânica. Em segundo, o conteúdo escolar a ser aprendido tem que ser potencialmente significativo, ou seja, ele tem que ser lógico e psicologicamente significativo: o significado lógico depende somente da natureza do conteúdo, e o significado psicológico é uma experiência que cada indivíduo tem (PELIZZARI et al, 2002, pg.24).

A aprendizagem quando não memorística traz grandes vantagens aos alunos, pois o conhecimento concebido com significado, será retido por um tempo maior, ou seja, o aluno consegue lembrar dele, com mais facilidade, e mesmo não lembrando muito quando voltado ao assunto, a sua compreensão será bem mais fácil, auxiliando na “reaprendizagem” (PELIZZARI et al, 2002).

Ainda, conforme o autor supracitado, também é uma ilusão pensar que uma boa explicação, uma aula “bem dada” e um aluno “aplicado” são condições suficientes para uma aprendizagem significativa. Como pode-se perceber, é um processo contínuo e que bem estruturado, pode trazer resultados satisfatórios.

I.1 Organizadores prévios

De acordo com Moreira (2011, pg.12) “Organizador prévio é um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem”. Ou seja, ele é usado quando os subsunçores do aprendiz não são adequados. E este organizador prévio pode ser apresentado ao aprendiz por meio de um filme, leitura introdutória, perguntas etc.

Há dois tipos de organizadores prévios: expositivo e o comparativo. O expositivo é normalmente utilizado e recomendado quando o aluno não tem subsunçores, onde este organizador prévio irá fazer uma ponte entre o conhecimento que o aluno sabe e o que deveria saber. Já o comparativo é usado quando uma nova ideia ou conceito a ser aprendido já é familiar ao aluno, pois o mesmo ajuda a integrar estes conhecimentos. “Organizadores prévios devem ajudar o aprendiz a perceber que novos conhecimentos estão relacionados a ideias apresentadas anteriormente, a subsunçores que existem em sua estrutura cognitiva prévia” (MOREIRA, 2011).

II. Modelagem Matemática

Podese dizer que a modelagem matemática nada mais é do que um conjunto de procedimentos que busca a explicação dos fenômenos que ocorrem em nosso cotidiano e na natureza, através de modelos matemáticos. Ou seja, partimos de uma problemática para chegar em uma solução, com o auxílio de modelos. Modelo do latim significa *modellum*, diminutivo de *modus*, que significa medida em geral. É da natureza humana, desde os primórdios, buscar por explicações de fenômenos físicos e naturais, e em muitas dessas explicações utilizamos modelos. Esses modelos são utilizados em diversas áreas do conhecimento, desde ciências da natureza a linguagem e códigos (BURAK,2012).

No Brasil, a Modelagem está ligada à noção de trabalho de projetos. Trata-se em dividir os alunos em grupos, os quais devem eleger temas de interesse para serem investigadores por meio da matemática, contando com o acompanhamento do professor (BASSANEZI, 1990).

Pode-se dizer que um modelo matemático é um sistema conceitual, descritivo ou explicativo, expresso por meio de uma linguagem ou uma estrutura matemática e que tem por finalidade descrever ou explicar o comportamento de outro sistema (BURAK,2012).

Na física a modelagem também é trabalhada como um modelo explicativo, pois todas as equações que utilizamos hoje para resolver situações cotidianas, não deixam de ser modelos. E a utilização da Modelagem Matemática como estratégia didática para o Ensino de Física, no estudo de fenômenos naturais pode contribuir para a evolução dos conceitos já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes e para a formação de novos conceitos, proporcionando condições favoráveis para uma aprendizagem mais significativa e motivadora (DAROIT, 2009).

As etapas para que a modelagem matemática ocorra, segundo BURAK (2012), são: a escolha do tema, a pesquisa exploratória, o levantamento dos problemas, a resolução dos problemas e o desenvolvimento dos conteúdos no contexto do tema e análise crítica das soluções. Essas etapas não precisam ser seguidas rigidamente e podem ser diferentes das etapas encontradas na modelagem matemática aplicada.

II.1 Escolha do Tema

A escolha do tema: deve ser por interesse inicial do grupo de estudantes envolvidos. Esses temas são obtidos através da curiosidade dos discentes e interesse deles. Quando os temas escolhidos forem diversos e aleatórios, então parte de o professor decidir com os alunos por qual tema iniciarão, se abordarão um de cada vez, qual a sequência e assim por diante.

Nesse contexto surge uma problemática, pois o professor pode sentir que não está preparado para aplicar algo inovador em sala de aula, principalmente deixando os alunos escolherem o tema de interesse. Para BURAK (2012), o fato de o tema escolhido não ter muita relação com a matemática, pode provocar no professor um certo temor por não saber como abordar o tema com aspectos matemáticos e nem qual matemática deverá desenvolver.

II.2 Pesquisa Exploratória

A pesquisa exploratória: Essa etapa ocorre de forma natural, pois ela tem como base a escolha do tema a ser trabalhado. Em muitos casos estes temas surgem pela curiosidade e interesse em entendê-los melhor.

A pesquisa exploratória tem o propósito de inserir os estudantes em atividades que desenvolvem atitudes e postura de um investigador, pois para buscar informações sobre o tema, o aluno precisa se organizar, para conseguir coletar dados, e a partir destes dados poderá dar continuidade no desenvolvimento para chegar até a resolução (BURAK,2012).

A partir da pesquisa exploratória terão os levantamentos de problemas, pois é por meio dos dados coletados na etapa anterior que darão sustentação ao levantamento de problemas. E nessa etapa segundo, Burak (2012), o professor tem o papel fundamental de mediador, pois ele deve auxiliar que os problemas que surgirão foquem na Modelagem. Esse é o momento em que se pode contribuir de forma significativa no desenvolvimento da autonomia do estudante e na formação do seu espírito crítico.

II.3 Resolução de Problemas e Desenvolvimento do Conteúdo Matemático no Contexto do Tema

É nesta etapa que o aluno irá utilizar a Modelagem Matemática propriamente dita, pois a partir da problemática vista na etapa anterior, o aluno usará de todo o embasamento matemático para a resolução dos problemas.

“Na resolução de um problema ou de uma situação-problema os conteúdos matemáticos ganham importância e significado. As operações, as propriedades e os diversos campos da matemática que se fazem presentes nessa etapa sem dúvida atribuem significados aos conteúdos matemáticos” (BURAK et al ,2012, pg.50).

O professor ainda agirá como mediador, quando na resolução de um problema o conteúdo necessário para a mesma não tenha sido visto pelo aluno e nem trabalhado em sala de aula. É aí que o professor pode auxiliar na formação de conceitos, orientando a

construção de novas informações e ainda podendo trabalhar de maneira interdisciplinar, “fugindo do currículo”. podendo tornar a aula bem mais significativa.

De acordo com Burak (2012), há algumas possibilidades dessa construção de novos conhecimentos acontecer. Uma delas é por meio do uso de organizadores prévios, enquanto outra é utilizar-se de investigação matemática em sala de aula através da Modelagem. Como podemos perceber, não há apenas uma maneira de possibilitar ao aluno ser mais crítico e construir seus próprios conhecimentos, ainda conseguindo relacionar de forma natural conteúdos que parecem difíceis, por não estar em seus currículos trabalhados.

Ao final do processo, há a análise crítica da solução dos problemas, que é a etapa mais rica em termos de aprendizagem. É nela onde todas as constatações sobre os dados obtidos e sobre as soluções encontradas serão analisadas, onde os alunos conseguiram fazer o elo entre o seu dia a dia e toda a matemática que os envolvem, bem como os modelos são úteis em nosso cotidiano.

De acordo com Burak (2012), esta etapa possibilita o aprofundamento de aspectos matemáticos, não matemáticos, sociais, ambientais, culturais, ou seja, todos os que têm relação com o tema abordado.

III. Experimentação com a Utilização de Materiais de Baixo Custo

O ensino científico não é uma tarefa muito fácil. Percebe-se que uma pequena parcela dos professores não realiza atividades experimentais nas salas de aula do Ensino Médio, mesmo tendo em vista a importância que os experimentos têm, seja em sala de aula ou em laboratório. A ciência ainda continua sendo demonstrada apenas por definições, equações e exercícios padronizados (SANTOS et al, 2016).

Segundo Santos et al (2016), os professores durante seu trajeto nas escolas encontram diversas dificuldades para a demonstração de certos conceitos e conteúdo durante suas aulas, dificuldades tanto estruturais, bem como falta de equipamentos, espaço físico, entre outros. Mas cabe ao professor utilizar-se de meios e métodos que os ajudem e conseqüentemente ajude seus alunos na aquisição de novos conceitos. Os materiais de baixo custo são ótimas ferramentas para isso, pois são simples, baratos e de fácil aquisição.

O experimento, além de tudo, quando realizado com materiais simples que o aluno tem condições de manipular e controlar, facilita o aprendizado dos conceitos, desperta o interesse e suscita uma atitude indagadora por parte do estudante (SANTOS et al, 2016).

Segundo Santos et al (2016), essas atividades podem incluir demonstrações feitas pelo próprio professor, experimentos que ajude e demonstre a confirmação de informações já dadas, onde a interpretação leve os discentes à elaboração de conceitos.

IV. Simuladores Computacionais

O avanço tecnológico é algo que vem sendo muito comentado, e para a educação não é diferente. A utilização de recursos multimídia vem auxiliando na forma de agir e interagir com os estudantes, o que resulta em uma mudança na forma do professor (FILHO, 2010).

Para Aguiar (2006), esses avanços tecnológicos podem resultar em mudanças paradigmáticas a respeito de como ensinar.

O uso de simuladores virtuais, por exemplo, facilita aos discentes a visualização de modelos e processos que ocorrem na natureza. Modelos físicos que muitas vezes não poderiam ser observados de outra forma (FILHO, 2010).

De forma sucinta, os simuladores permitem uma maior interação e participação dos alunos nas aulas, já que muitas vezes podemos alterar com facilidade os parâmetros físicos envolvidos, ajudando na compreensão de um fenômeno, relacionado com conceitos estudados.

Percebe-se então como necessário a inserção de tecnologias que auxiliem no trabalho pedagógico nas aulas de Física. Esses recursos ainda contribuem significativamente para a aprendizagem dos conteúdos físicos. Segundo Carraro et al (2014), o simulador age como facilitador e motivador no processo de ensino e aprendizagem.

Busca-se colocar o estudante mais ativo no processo de ensino de forma que observe os modelos físicos, avance na construção de conceitos, leis e teorias, colete dados das simulações, elabore hipóteses e teste a validade das mesmas, confronte o seu conhecimento prévio com o conhecimento científico, questione, estabeleça relação entre a teoria e prática na compreensão dos fenômenos físicos presentes no seu dia a dia (CARRARO, et al 2014, pg. 35)

III. DESCRIÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO

As atividades planejadas, desenvolvidas e realizadas com os discentes do segundo ano "2E", Técnico em Alimentos Integrado ao Ensino Médio, com trinta e cinco alunos, ocorreram no período de 05 de setembro a 24 de outubro de 2018.

Onde cada aula tinha a duração de 1,5 horas as quais foram divididas em 5 (cinco) semanas de docências, ou seja, 10 horas-aula e 2(duas) semanas de oficina didática, ou seja, 04 horas-aula, cada aula de 45 minutos.

I. Docência

Durante as sete aulas que a estagiária ministrou, optou-se em seguir uma ordem. Sendo assim as primeiras cinco semanas foram destinadas para docência e em seguida as duas últimas foram de oficinas didáticas. A estagiária optou por essa ordem baseando-se na sequência de conteúdos do plano de curso do professor supervisor e pensando em qual conteúdo trabalharia em sua oficina. Como já mencionado, os conteúdos abordados nas aulas de docência foram seguindo o plano de curso do professor supervisor, e em alguns conceitos, utilizou-se também o livro didático. Abaixo segue, de forma resumida, o cronograma dos conteúdos trabalhados nas 5 aulas de docência:

Tabela 1: Cronograma aulas de docência.

Data	Tempo de duração (horas)	Conteúdo
05/09/2018	1,5	Introdução à termodinâmica, Energia Interna de um gás, Trabalho realizado por um gás em um processo isobárico, gráficos PxV.
12/09/2018	1,5	Correção dos exercícios propostos na aula anterior, e trabalho realizado por um gás quando não é um processo isobárico.
19/09/2018	1,5	Revisão das aulas anteriores, Lei zero da termodinâmica, 1ª Lei da Termodinâmica, processo adiabático.
26/09/2018	1,5	Modelagem matemática através de simuladores computacionais.
10/10/2018	1,5	Processos cíclicos, Máquinas térmicas e Máquinas Frigoríficas.

I.1 Dia 05/09/2018

Esta primeira aula iniciou-se com uma pequena explicação e apresentação sobre o estágio, o que seria realizado com eles, de que forma, como seria as formas de avaliação e tempo de duração do estágio. Ainda houve explicação sobre a aplicação dos pré-teste e pós-teste, relacionando-os com o referencial teórico que servirá como organizador prévio, deixando claro para os alunos que o mesmo não seria avaliativo. Na primeira aula foi utilizado o quadro para trabalhar os conteúdos programados, proporcionando assim, um melhor conhecimento da turma por parte da estagiária, por exemplo, como os alunos iriam se comportar e se adaptar ao modo de trabalho da mesma para em seguida trabalhar com outras metodologias. Ao iniciar a aula, um pré-teste foi aplicado, (Apêndice D), que foi elaborado seguindo os conceitos que seriam utilizados até a aula do dia 26/09/2018. Após todos os alunos responderem, o que levou cerca de 20 minutos, iniciou-se pequenas indagações objetivando instigar os alunos; O que é termodinâmica? O que ela estuda? Depois das respostas a estagiária explicou o que a termodinâmica estuda e trabalhou Energia Interna de um gás, explicando o que é a energia interna de um gás, como chegar na equação da energia interna através da equação 1:

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

Relacionando com a equação de Clapeyron. Indagou-se sobre quais as grandezas que utilizamos quando trabalhamos com um gás T, V, P (temperatura, volume, pressão). Explicou-se através de desenhos o que acontece com a energia interna de um gás quando fornecemos calor e qual é a grandeza que a energia interna está diretamente relacionada, que é a temperatura. Após essas explicações foi passado um exercício, que foi respondido juntamente com os alunos, para a fixação do conteúdo. A exploração da função de cada variável estudada, ajudará na inserção da modelagem matemática, pois com as equações é possível chegar a um modelo que servirá como resolução de problemas.

Abordou-se também o trabalho nas transformações gasosas, explicando como um gás pode realizar ou sofrer trabalho e como ocorre o trabalho em um gás, em um processo isobárico, explicando que grandezas estão presentes neste processo, e porque o trabalho está relacionado diretamente com o volume, explicando também como podemos calcular o trabalho de um gás com pressão constante, através de gráfico P×V (pressão por volume). Para melhor compreensão, a estagiária realizou e resolveu um exercício. Como tema, alguns exercícios do livro didático utilizado pela turma foram selecionados para que trouxessem resolvidos na próxima aula. A resolução de exercícios pode ser trabalhada para dar estímulo aos conhecimentos prévios dos alunos, pois através da resolução o aluno consegue relacionar com o novo conhecimento que está adquirindo, muitas vezes na resolução de exercícios pode ocorrer aprendizagem mecânica, mas bem trabalhada ela poderá gerar uma aprendizagem significativa. É resolvendo situações-problemas e exercícios onde os alunos vão colocar em prática o conhecimento prévio que já possuem.

Em uma análise da aula a estagiária elencou alguns pontos negativos e positivos que foram percebidos.

Pontos negativos: Por ter optado pela a utilização do quadro, os alunos levaram muito tempo para copiar os conceitos e exercícios. Sendo assim, as próximas aulas serão com a

utilização de projetor multimídia para a otimização de tempo e para a utilização de imagens para a melhor compreensão dos conceitos.

Pontos positivos: Participação da turma, prestam atenção na hora das explicações, fazem questionamentos, interagem de forma positiva durante o decorrer das aulas.

Relacionando a teoria de Ausubel com as aulas, o aluno utiliza-se de um conhecimento prévio já relevante em sua estrutura cognitiva para ancorar novos conhecimentos, isso ocorre de forma diferente para cada aluno, levando em consideração o tempo de cada um, e é de suma importância ter um bom organizador prévio para ajudar que ocorra esse novo conhecimento, pois são através de perguntas iniciais por exemplo que os alunos são capazes de fazer pequenas “teses”, para chegar à uma aprendizagem significativa, muitas vezes teses até incorretas, mas é aí onde o professor entra para dar base a esse novo conteúdo e conceito, para que o aluno consiga comparar o que já sabia, com o que aprendeu novo. Este organizador prévio foi trabalhado através do aplicação do pré-teste.

I.2 Dia 12/09/2018

A segunda aula foi de apenas 30 minutos, devido a uma atividade que havia sido programado pela escola. Houve somente a correção dos exercícios propostos na aula anterior, e uma pequena revisão da aula passada.

I.3 Dia 19/09/2018

Iniciou-se a aula com uma revisão do conteúdo trabalhado nas duas aulas anteriores. O foco principal baseou-se na abordagem efetiva dos cálculos envolvendo o trabalho realizado por um gás ideal à pressão constante. Didaticamente esse tema foi explorado através da interpretação de gráficos e estabelecendo uma relação direta com a modelagem matemática associada a esse fenômeno físico. Além disso, foram abordados os conceitos da Lei zero e a 1ª Lei da termodinâmica e dos processos adiabáticos termodinâmicos envolvidos, focando especificamente nas grandezas físicas relacionadas com essas leis. Ao final dessa aula foram trabalhados exercícios teóricos com o intuito de fixar na prática os conceitos estudados pelos alunos na aula.

Nesta aula relacionando com a modelagem matemática o foco foi perceber a relação das grandezas físicas presentes nas equações, e conseguir interpretar, como elas se relacionam graficamente também, essas relações permitem aos alunos uma visão sobre a importância dos modelos matemáticos, e como eles estão presentes, no nosso cotidiano para a resolução de problemas, pois através dessas observações os alunos começam a fazer “investigações” por si próprios.

I.4 Dia 26/09/2018

Esta aula foi voltada para a modelagem matemática através de simulação virtual, com uso do software phet colorado e um simulador online. No início da aula foi entregue um roteiro para cada aluno com algumas questões para os alunos responderem e após a explicação de como funciona o simulador e da leitura e explicação de como a atividade funciona. A Figura 1 mostra a primeira atividade. Nela, os alunos deveriam observar o comportamento

das variáveis de estado dos gases, quando eles variam a quantidade de gás dentro de um recipiente que poderia ficar fechado ou aberto, poderiam fornecer calor e retirar calor; os alunos poderiam trabalhar com processos isobárico, isotérmico e isovolumétrico. Após entender o funcionamento deveriam coletar dados e desenvolver modelos matemáticos correspondentes às transformações sofridas utilizando gráficos. Na segunda atividade (segundo simulador), figura 2, os alunos poderiam observar e compreender através da visualização do trabalho realizado por um gás; poderiam, inclusive, alterar a pressão e a temperatura, visualizando graficamente este processo. O terceiro simulador, figura 4, foi utilizado para trabalhar o princípio de conservação de energia. Este simulador foi trabalhado com questões mais conceituais.

Relacionado os simuladores com o referencial teórico, é através da resolução do roteiro, onde com as respostas dos alunos podemos fazer uma comparação da ampliação de seus conceitos, pois nas respostas é onde os alunos vão colocar na prática o que aprenderam, e nas etapas da modelagem é quando os alunos já estão na parte de resolução da problemática, a escolha do temas se dá pelo professor, e no roteiros os alunos buscam perceber qual é o modelo que precisam para chegar na resolução.

Os alunos foram bem participativos nesta aula, e gostaram de explorar os simuladores, porém percebeu-se que alguns estudantes tinham dificuldades em construir gráficos com os dados coletados.

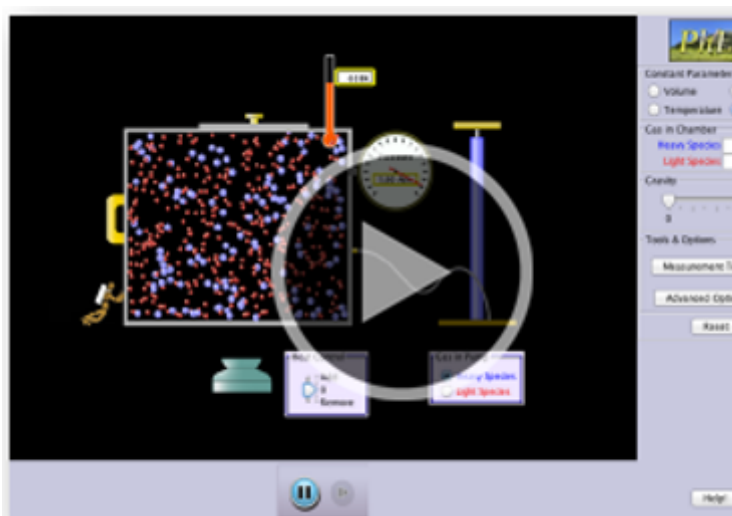


Figura 1: *Simulador Propriedade dos gases utilizado pelos alunos.*

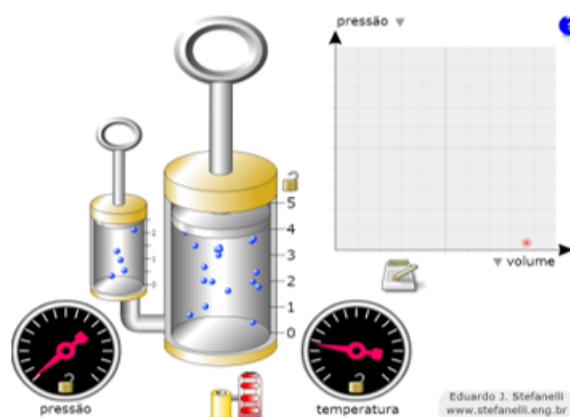


Figura 2: Simulador online, trabalho de um gás, utilizados pelos alunos.

Formas de Energia e Transformação



Figura 3: Simulador Formas de Energia e Transformações, utilizado pelos alunos.



Figura 4: Alunos trabalhando com os simuladores no laboratório de informática

I.5 Dia 10/10/2018

A aula iniciou com a aplicação de um pré-teste sobre os conteúdos envolvidos nesta aula - máquinas térmicas e máquina de Heron, como funcionam as máquinas térmicas, rendimento de uma máquina térmica e também as máquinas frigoríficas, seu funcionamento e sua eficiência. Após todos concluírem, iniciou-se os trabalhos sobre processos cíclicos, através de exemplos utilizando figuras de máquinas que trabalham em ciclos. Procedeu-se alguns cálculos do trabalho realizado por um gás em um processo cíclico, tanto para ciclos no sentido horário e anti-horário.

Ao findar-se a aula, além de trabalhar alguns exercícios de fixação, foi passado para os alunos algumas questões sobre os conceitos trabalhados – eles deveriam fazer uma pequena pesquisa em casa (coleta de dados) para serem utilizados na próxima aula, dados estes que serviram de base para a oficina que seria aplicada na semana seguinte. Em todas as aulas os alunos mostraram grande participação e interação, o que facilitou o andamento das aulas.

Nesta aula, analisando as respostas do pré-teste, alguns alunos apresentaram “teses” incorretas sobre o que seriam, máquinas térmicas e frigoríficas. A partir dessas resposta a estagiária baseou-se na criação da segunda oficina didática, para ajudar na ancoragem de novos conhecimentos, optou em trabalhar com materiais de baixo custo.

II. Oficina

O cronograma e os conteúdos aplicados nas oficinas didáticas estão descritos na tabela abaixo, e foram elaboradas seguindo os temas previstos no plano de curso, referencial teórico, e desenvolvimento da turma nas aulas de docência.

A primeira oficina foi desenvolvida pensando-se no curso técnico em Alimentos, esta oficina trabalha o cálculo de carga térmica e refrigeradores, o que é muito utilizado nesta área de alimentos.

Já a segunda oficina didática foi elaborada pensando em abordar conceitos trabalhados no começo das aulas de docência, que era mais abstrato “trabalho de um gás” e a questão de máquinas térmicas, onde através do pré-teste alguns alunos demonstraram pouco entendimento.

Tabela 2: Cronograma conteúdos oficina didática.

Data	Tempo de duração(horas)	Conteúdo
17/10/2018	1,5	Calculando a carga térmica de um ar condicionado
24/10/2018	1,5	Processos termodinâmicos e Leis da termodinâmica-Baixo Custo

Conforme o cronograma acima, a primeira aula de oficina didática ocorreu no dia 17 de outubro de 2018. Nela, os alunos trabalham uma aula prática de modelagem matemática. Aproveitando a estação do ano e relacionado com o cotidiano dos alunos foi realizado o cálculo da carga térmica de um ar condicionado, visto que no verão muitos ambientes utilizam-se deste dispositivo para que possam controlar a temperatura de determinado ambiente. A aula iniciou-se então mostrando um pequeno vídeo sobre o funcionamento de uma geladeira, de um ar condicionado e de um motor 4 tempos para a visualização dos ciclos em uma máquina térmica.

Após os vídeos os alunos, tendo em mãos os dados pedidos na aula anterior, responderam algumas perguntas.

Essas perguntas foram elaboradas para que a oficina pudesse ser colocada em prática, pois para a mesma os alunos precisam de alguns conceitos prévios.

1. Qual a potência ideal que um ar condicionado deve ter para refrigerar determinado ambiente?
2. O que é capacidade térmica de um refrigerador?
3. O que é BTU?
4. Anote quantos equipamentos eletrônicos tem em seu quarto.
5. Meça a área do seu quarto.
6. Quantas lâmpadas tem no seu quarto?
7. Quantas pessoas utilizam este ambiente?

Após os alunos discutirem as respostas que encontraram a estagiária respondeu às perguntas feitas aos estudantes e entregou um pequeno roteiro (Apêndice D) onde, de uma maneira simples, com os dados coletados do quarto de cada aluno, eles deveriam calcular qual seria a carga térmica, em média, necessária para instalar um ar condicionado no ambiente. Os dados são os seguintes:

1. determinar a área do local que queremos resfriar;
2. determinar a quantidade de pessoas, que utilizam aquele lugar;
3. identificar a quantidade de aparelhos que estão no local;
4. saber se o ambiente recebe incidência da luz solar;

Uma vez que os alunos determinaram a carga térmica do quarto, iniciou-se outra atividade: determinar a carga térmica da sala de aula a qual eles estavam. Esta atividade foi realizada em dupla. Com o auxílio de uma trena os alunos mediram as dimensões da sala de aula e, calcularam a área da mesma.

Para a obtenção da carga térmica utilizou-se um cálculo simples, que a estagiária baseou-se, que a maioria de sites de venda deste equipamento utiliza. Para isso, os fabricantes levam em conta, para determinar quantos BTUs o aparelho de ar condicionado deve ter em determinado ambiente, as seguintes informações:

- Para cada m^2 vamos considerar 600 BTU;
- Considere 800 BTU para cada pessoa que circula no ambiente;
- 800 BTU para cada aparelho eletrônico ligado;
- Caso o cômodo seja alvo de incidência solar, multiplique o valor encontrado por 1,25

- Para cada lâmpada deve-se multiplicar pela metade do fator utilizado para a área, no caso 600 BTU;

Essa foi uma atividade simples, mas com grande participação dos alunos.



Figura 5: Alunos medindo a área da sala de aula, para cálculo da carga térmica.

A segunda e última oficina didática ocorreu no dia 24 de outubro de 2018. Nesta oficina a estagiária optou em trabalhar com experimentos de baixo custo, e esta oficina serviu como uma “revisão” de quase todos os conceitos trabalhados em sala. Os experimentos abordados foram três. Para dar início à oficina a estagiária propôs que os alunos formassem um semicírculo. Após, foi entregue um pequeno roteiro onde os alunos responderam em dupla. Para a realização do experimento dois alunos foram selecionados para ajudar na montagem e realização dos mesmos, e o restante da turma deveria prestar atenção nos fenômenos para em seguida poder responder o roteiro, que foi elaborado voltado mais para a parte conceitual; O 1º experimento aborda o processo isobárico, onde uma bexiga era colocada na ponta de uma garrafa pet, que era colocada em contato com a água quente e com água fria. Neste experimento deveria se relacionar a alteração de volume (bexiga) e temperatura, (água quente e água fria).

O 2º experimento consistia em uma máquina térmica, que foi utilizada para a observação de fonte quente, trabalho, e conservação de energia. O experimento consistia em uma lata de refrigerante que continha água. Esta água quando aquecida era utilizada para realizar trabalho, ao girar um catavento, com o vapor de água que saía por um pequeno orifício da lata.

O 3º experimento, a estagiária fez um ar condicionado utilizando uma caixa de isopor, um cooler de computador e uma fonte de 12V. Este experimento serviu para mostrar de maneira bem simplificada o funcionamento de refrigeradores.

Os experimentos acima citados estão descritos detalhadamente no roteiro desta oficina (apêndice D).

Ao findar os experimentos e após a turma responder o roteiro, os alunos responderam uns pós-teste, que englobava todo os conteúdos trabalhados durante o estágio e baseado nos pré-testes aplicados.

Pontos positivos das oficinas; os alunos participaram com muito engajamento, o que mostrou que as atividades foram interessantes, e principalmente na parte dos experimentos de baixo custo, eles mostraram certa animação em ver que eles realmente funcionam, principalmente no ar condicionado.

Ponto negativos, pouco material para pesquisa e ideias para a criação das oficinas, envolvendo o conteúdo que deveria ser abordado.

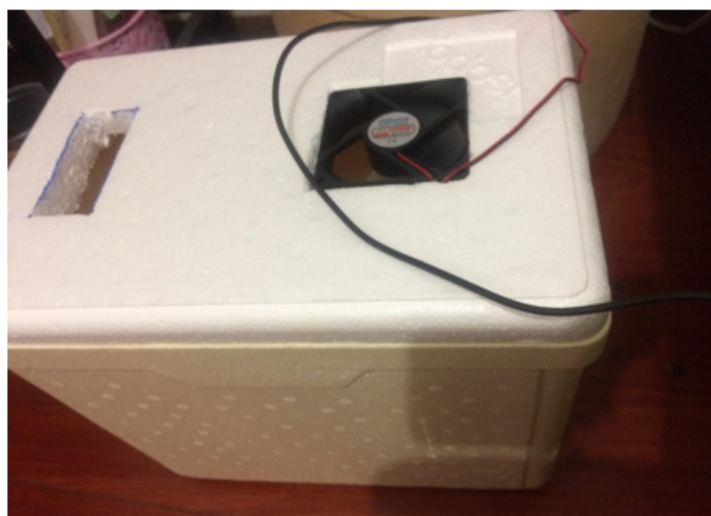


Figura 6: Ar condicionado caseiro utilizado na oficina didática.



Figura 7: Aluno realizando o 1º experimento de baixo custo proposto.

De maneira sucinta, a aprendizagem significativa durante o estágio, foi trabalhada a

partir de um organizador prévio, no caso utilizados nas aulas o pré e pós-teste para ver o que os alunos da turma 2E, possuíam em sua estrutura cognitiva, os seja já traziam consigo em outras vivências.

Percebeu-se com as respostas que muitos alunos traziam um conhecimento prévio bem estruturado, o que de fato ajudou no bom decorrer das aulas, já com o pós-teste, que serviu para a comparação se de fato houve uma aprendizagem significativa, podemos dizer que foi satisfatório, pois alguns alunos que não tinham conseguido responder o pré-teste dentro do esperado, mostraram melhores argumentos e respostas mais próximas dos conceitos corretos.

Ainda podemos dizer que não houve apenas uma aprendizagem mecânica, pois, parte dos trabalhos avaliativos continham questões conceituais, onde os alunos tinham que justificar fenômenos, transcrever com suas palavras, necessitando demonstrar um pouco de entendimento sobre o conceito adquirido para conseguir responder adequadamente.

Com isso todos os resultados do estágio foram bem satisfatórios, alguns alunos ao final do estágio ainda mostraram algumas ideias errôneas, mas levando em consideração o número de alunos na turma, os pré-teste, pós-testes e roteiros com questões, estavam muito bem estruturados.

Ainda com as questões utilizadas no pós-teste, que foi baseado nos pré-teste aplicados, percebeu-se uma ampliação de conhecimento, nas respostas dadas pelos alunos, pois após a assimilação do que o aluno já sabia, com tudo o que ele percebeu e compreendeu em sala de aula ocorreu a apresentação coletiva da sua estruturação intelectual, ou seja quando de fato conseguimos perceber a ampliação dos conhecimentos, aqui observados, aplicado através de três roteiros com questões avaliativas, conceituais e gráficas, durante a docência, e oficinas didáticas.

III. Oficina de Recuperação Paralela

A recuperação paralela com a turma ocorreu em três momentos. No dia 26 de setembro e no dia 10 de outubro foi disponibilizado 1 hora em cada dia, para que os alunos tirassem dúvidas, e/ou pudessem resolver exercícios, e/ou qualquer dúvida pertinente às aulas. Nesses dois dias a recuperação paralela serviu mais como um reforço para os alunos.

Já o terceiro momento, o professor supervisor solicitou que a estagiária elaborasse algumas questões ou sugestões para a prova de recuperação paralela, já que todo o conteúdo havia sido trabalhado pela mesma. As questões sugeridas estão no apêndice D.

CONCLUSÃO

O Estágio curricular é de suma importância. É a etapa de preparação de qualquer profissional, e na área das licenciaturas não é diferente, pois é a partir dele que vivências em sala de aula podem ser aprendidas. É um momento de aliar teoria e prática e ainda constatar como anda o ensino de Física dentro das salas de aula em pleno século XXI, visto que muito se fala em adotar metodologias diferenciadas para o ensino. Conciliando isso com o Estágio Supervisionado II, percebe-se que é muito importante estar preparados para

adentrar em sala de aula, pois somente assim conseguimos lidar e estar preparados para as adversidades encontradas no processo de ensino-aprendizagem.

As metodologias que fogem da aula tradicional, principalmente na disciplina de Física, tornam-se ferramentas para auxiliar tanto no ensino-aprendizagem quanto ao professor na elaboração do plano de ensino, possibilitando uma prática reflexiva; ainda auxilia o professor a perceber que o uso dos organizadores prévios irá contribuir para a obtenção de uma aprendizagem significativa, pois para cobrar algo dos alunos, primeiramente precisamos saber o que ele está compreendendo, e como podemos estimular as ideias relevantes na sua estrutura cognitiva. E a utilização de metodologias diferenciadas pode contribuir muito neste aspecto.

Ao iniciar um curso de licenciatura, nos preparamos diariamente para exercer as atividades desta área, seja através de planejamento que antecede à docência, até a avaliação que assume o papel final, das atividades em sala de aula. Em cada uma dessas etapas de preparação precisamos muitas vezes repensar qual é a melhor forma de se trabalhar, objetivar melhores processos de ensino-aprendizagem.

O contato com o estágio oferece ao acadêmico uma visão mais ampla do espaço escolar, do que é ser professor, desafios e estratégias, que poderá e vai enfrentar como futuro docente.

Neste relato, destaca-se a importância do estágio de regência para quem pretende seguir a carreira de professor, pois conhecer o ambiente escolar, saber lidar com os alunos e com as dificuldades da turma, colabora de forma positiva para a preparação de melhores profissionais, pois é na prática que conseguimos chegar mais próximo da perfeição. E trabalhar metodologias inovadoras como aqui citado, a Modelagem Matemática, o uso de Simuladores virtuais e a utilização de experimentos de baixo custo em sala de aula, buscando que os alunos consigam uma aprendizagem significativa ao invés de uma aprendizagem mecânica, algo que é almejado por muitos docentes.

Ainda, o estágio nos mostra que devemos estar preparados para as mudanças de planejamento, que podem ocorrer a qualquer momento.

Analisando os pré-testes respondidos pelos discentes, a turma de forma geral demonstrou ter um bom entendimento do conteúdo, mesmo sem ter visto ele, ou seja, eles relacionaram com algo que já possuíam em sua estrutura cognitiva. A única parte do pré-teste onde algumas respostas foram equivocadas foi sobre máquina térmicas e máquinas frigoríficas, onde muitos alunos citaram forno elétrico e micro-ondas como sendo máquinas térmicas. Já o pós-teste mostrou uma grande melhora nestas questões, porém dois alunos ainda permaneceram com a ideia de forno elétrico e micro-ondas. Dentre os trinta e cinco alunos, sete alunos, não conseguiram obter média através das atividades propostas, que foram três notas, mas destes sete alunos, cinco deles não entregaram algum trabalho. De maneira geral a turma tinha boas concepções e bom embasamento nas respostas.

Uma dificuldade que foi percebida com os trabalhos propostos foi plotar gráficos com dados experimentais, porém foi uma pequena parcela da turma.

Um dos pontos negativos que mais havia preocupação era conseguir fazer o planejamento do estágio, em cima do referencial relacionando com o conteúdo, pois se percebeu pouco material na área de modelagem matemática trabalhando com termodinâmica, e para suprir essa falta de material foi optado por abordar os experimentos de baixo custo, o que ajudou

muito na demonstração dos conteúdos trabalhados em sala, e a turma demonstrou mais interesse nesta parte e na parte de modelagem em sala de aula, do que no laboratório de informática, como já citado, é uma turma participativa e ativa, que gosta de forma geral, “colocar a mão na massa”.

Já os pontos positivos é o simples fato de estar em sala de aula, ver como é bom ter um planejamento das atividades, e por conta disso, conseguir trabalhar com todos os conteúdos programados.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C. E. *Informática no Ensino de Física*. Material didático impresso. CEDERJ, 2006. Disponível em <http://omnis.if.ufrj.br/carlos/infoenci/notasdeaula/roteiros/aula01.pdf>, consultado em 5 de junho de 2007.

BASSANEZI, R. C. Modelagem como metodologia de ensino de matemática. In: *Actas de la Séptima Conferencia Interamericana sobre Educación Matemática*. Paris: UNESCO, 1990. p. 130-155.

BÔAS, N,V; DOCA, R,H; BISCUOLA, G, J; *Física 2, termologia, ondulatória, ópticas*. 3ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2017.

BURAK, D. *A modelagem matemática e relações com a aprendizagem significativa*. Curitiba-Brasil, Editora CRV, 2012, 130 páginas.

CARRARO, F,L; PEREIRA, R,F. *O Uso de Simuladores Virtuais do Phet como Metodologia de Ensino de Eletrodinâmica*. Paraná: Versão online; OS DESAFIOS DA ESCOLA PÚBLICA PARANAENSE NA PERSPECTIVA DO PROFESSOR PDE. 2014.volume 1. 18 páginas.

DAROIT, L; et al. O Ensino de fenômenos físicos através da modelagem matemática. *X Encontro Gaúcho de Educação Matemática*; Ijuí; 8 páginas; julho de 2009.

FERREIRA, P. F. M. *Modelagem e suas contribuições para ensino de Ciências: Uma análise do estudo de Equilíbrio Químico*. 2006, Dissertação (Mestrado em Educação da UFMG). UFMG, Belo Horizonte.

FILHO, G,FS; *Simuladores Computacionais para o Ensino de Física básica: Uma discussão sobre produção e uso*.(Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro Instituto de Física- 2010. 86 páginas.

MARTINI, G, et al. *Conexões com a física*. 2ªed. São Paulo: Editora Moderna, 2013. Manual do professor.

MOREIRA, M.A; MASINI, E.F.S. *Aprendizagem Significativa, a Teoria de David Ausubel*. 2ª Edição. São Paulo. Centauro Editora. 2006. 111 páginas.

MOREIRA, M.A. *Aprendizagem significativa: a teoria e texto complementares*. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2011. 179 páginas.

SANTOS, A,M, et al. *A importância da realização de experimentos de baixo custo no Ensino Médio*. In III CONEDU- Congresso Nacional de Educação. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco – Campus. 7 páginas. 2016.

PELIZZARI, A; et al. Teoria da aprendizagem Significativa Segundo Ausubel.*Rev. PEC*, Curitiba, v.2, n.1, p.37-42, jul. 2001-jul. 2002.

APÊNDICE A – Cronograma geral de estágio

Data	Tempo de duração(horas)	Tipo de aula
05/09/2018	1,5	Docência
12/09/2018	1,5	Docência
19/09/2018	1,5	Docência
26/09/2018	1,5	Docência
26/09/2018	1	Reforço
10/10/2018	1,5	Docência
10/10/2018	1	Reforço
17/10/2018	1,5	Oficina
24/10/2018	1,5	Oficina

Fonte: A autora (2018).

APÊNDICE B – Planos de aula



INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE.
CURSO DE LICENCIATURA
EM FÍSICA

LFA0442
Seminários

Plano de Aula

Professor: Kelley Cristina Schumacker **Data:** 05/09/2018

Turma: 2E

Carga horária: 2 h/a

Turno: Vespertino

Duração: 45 min (uma aula)

Título: Termodinâmica

Objetivo Geral: Compreender as leis que envolvem a termodinâmica, bem como os processos físicos que ocorrem devido a esses processos e transformações.

Objetivos específicos:

Entender o que significa termodinâmica;

Compreender a Lei zero e 1º Lei da Termodinâmica;

Estudar como ocorre o trabalho de um gás em um processo isobárico;

Resolver exercícios relacionados os novos conceitos aprendidos;

Conteúdos a serem trabalhados:

Introdução a primeira lei da termodinâmica, energia interna de um gás, calor e trabalho realizado em um processo isobárico.

Metodologia:

Aula expositiva, baseada na comunicação, e explanação dos conteúdos abordados, demonstração na prática do trabalho realizado em um processo isobárico e resolução de exercícios.

Recursos Didáticos:

Quadro, pincel, folha A4, água fervente, garrafa pet, água em temperatura ambiente, fonte para aquecimento da água e um recipiente grande, para emergir a garrafa pet.

Procedimento Didático:

Ação: Aplicação de um pré-teste, revisão sobre equilíbrio térmico, energia interna e trabalho, e explicação sobre a Lei zero da termodinâmica.

Tempo previsto: 25 minutos.

Dinâmica: Exposição oral.

Ação: Introdução a 1º Lei da termodinâmica, e trabalho realizado por um gás em processos isobáricos, isocóricos e isovolumétricos

Tempo previsto: 30 minutos.

Dinâmica: Exposição oral.

Ação: Experimento sobre o trabalho realizado em um processo isobárico.

Tempo previsto: 15 minutos.

Dinâmica: Exposição oral.

Ação: Discussão e resolução de exemplos

Tempo previsto: 45 minutos.

Dinâmica: Demonstração exercícios resolvidos, e exemplos do cotidiano.

Avaliação:

Instrumentos Avaliativos: Exercícios resolvidos. Os alunos serão divididos em grupos, para a resolução de exercícios, e a cada resposta correta, os grupos somaram pontos que contaram para a avaliação.

Critérios Avaliativos: Participação dos alunos.

Referências:

NEWTON, Villas Bôas, HELOU, Ricardo Doca, GUALTER José Biscuola, Física - Termologia Ondulatória e Óptica - Volume 2, 3ª edição, São Paulo, Editora Saraiva, 2017

Kelley Cristina Schumacker

Caderno de Campo: (observações ocorridas durante ou após a aula)

Por ser a primeira aula, a estagiária optou por levar um planejamento com um tempo maior, para se adaptar aos alunos. A turma a recebeu bem, e foi bem prestativa, por ser um grupo grande, eles colaboram muito e foi tranquilo conseguir manter o controle de conversas paralelas. Mesmo a estagiária mantendo um tom de voz baixo.

Porém, como esperado, não foi possível completar todo o planejamento previsto.

Em primeira parte, foi entregue aos alunos um pré-teste, após os alunos responderem o mesmo, foi iniciado o conteúdo, falando sobre o que era a termodinâmica, energia interna dos gases, e trabalho realizado por um gás nos processos isobáricos, e foi proposto alguns exercícios do livro didático dos alunos. E por ser uma turma grande, foi optado em não fazer a resolução de exercícios em grupo como gincana, devido ao tempo.

Plano de Aula

Professor: Kelley Cristina Schumacker Data: 12/09/2018

Turma: 2E

Carga horária: 2 h/a

Turno: Vespertino

Duração: 45 min (uma aula)

Título: Termodinâmica

Objetivo Geral:

Compreender as leis que envolvem a termodinâmica, bem como os processos físicos que ocorrem devido a esses processos e transformações.

Objetivos específicos:

Compreender gráficos PxV ;

Resolver exercícios interpretando gráficos;

Compreender a Lei zero e 1º Lei da Termodinâmica;

Estudar transformações em processos adiabáticos;

Conteúdos a serem trabalhados:

Conceito de calor, 1ª lei da termodinâmica, transformação adiabática;

Metodologia:

Aula expositiva, baseada na comunicação, e explanação dos conteúdos abordados, demonstração na prática da 1ª Lei da termodinâmica.

Recursos Didáticos:

Quadro, pincel, projetor, experimento barco a vapor, produzido pela estagiária.

Procedimento Didático:

Ação: Correção de exercício proposto

Tempo previsto: 10 minutos.

Dinâmica: Exposição oral.

Ação: Revisão do conteúdo abordada na aula passada, e revisão sobre o conceito de calor.

Tempo previsto: 25 minutos.

Dinâmica: Exposição oral.

Ação: Introdução a lei zero da termodinâmica, cálculo de gráficos p_xv . Para cálculo do trabalho realizado por um gás.

Tempo previsto: 30 minutos.

Dinâmica: Exposição oral.

Ação: Demonstração prática sobre a primeira lei da termodinâmica.

Tempo previsto: 15 minutos.

Dinâmica: Exposição oral.

Ação: Abordagem sobre transformações em processo adiabáticas e resolução de exercícios.

Tempo previsto: 45 minutos.

Dinâmica: Demonstração exercícios resolvidos, e exemplos do cotidiano.

Avaliação:

Instrumentos Avaliativos: Exercícios resolvidos.

Crterios Avaliativos: Participação dos alunos.

Referências:

NEWTON, Villas Bôas, HELOU, Ricardo Doca, GUALTER José Biscuola, Física - Termologia Ondulatória e Óptica - Volume 2, 3ª edição, São Paulo, Editora Saraiva, 2017

Kelley Cristina Schumacker

Caderno de Campo: (observações ocorridas durante ou após a aula)

Somente ao chegar na escola neste dia, a estagiária foi informada que os alunos teriam apenas 30 minutos de aula. Logo não foi possível trabalhar com todo o planejamento programado. Ao entrar na sala foi feita a chamada, e por ter pouco tempo, a estagiária optou em apenas fazer a correção de exercícios que foram propostos na aula anterior, essa escolha de apenas correção deu-se também pois os alunos estavam eufóricos, e não iriam prestar atenção na explicação de um novo conteúdo, tão pouco estavam dispostos a copiar algo.



**INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE.
CURSO DE LICENCIATURA
EM FÍSICA**

LFA0442
Seminários

Plano de Aula

Professor: Kelley Cristina Schumacker **Data:** 19/09/2018

Turma: 2E

Carga horária: 2 h/a

Turno: Vespertino

Duração: 45 min (uma aula)

Título: Termodinâmica

Objetivo Geral:

Compreender as leis que envolvem a termodinâmica, bem como os processos físicos que ocorrem devido a esses processos e transformações.

Objetivos específicos:

Interpretar gráficos $P \times V$;

Resolver exercícios interpretando gráficos;

Compreender a Lei zero e 1º Lei da Termodinâmica;
Estudar transformações em processos adiabáticos e processos cíclicos;

Conteúdos a serem trabalhados:

Lei zero da termodinâmica;
1ª Lei da termodinâmica;
Processos adiabáticos;
Processos cíclicos;

Metodologia:

Aula expositiva, baseada na comunicação, e explanação dos conteúdos abordados.

Recursos Didáticos:

Quadro, pincel, projetor, experimento barco a vapor, produzido pela estagiária.
Data show.

Procedimento Didático:

Ação: Revisão do conteúdo abordada na aula passada, e revisão sobre o conceito de calor.

Tempo previsto: 25 minutos.

Dinâmica: Exposição oral.

Ação: Introdução a lei zero da termodinâmica e primeira Lei da termodinâmica

Tempo previsto: 30 minutos.

Dinâmica: Exposição oral.

Ação: Demonstração prática sobre a primeira lei da termodinâmica.

Tempo previsto: 15 minutos.

Dinâmica: Exposição oral.

Ação: Abordagem sobre transformações em processo adiabáticas, processos cíclicos e resolução de exercícios.

Tempo previsto: 45 minutos.

Dinâmica: Demonstração exercícios resolvidos, e exemplos do cotidiano.

Avaliação:

Instrumentos Avaliativos: Exercícios resolvidos. Os alunos serão divididos em grupos, para a resolução de exercícios, e a cada resposta correta, os grupos somaram pontos que contaram para a avaliação.

Crerios Avaliativos: Participação dos alunos.

Referências:

NEWTON, Villas Bôas, HELOU, Ricardo Doca, GUALTER José Biscuola, Física - Termologia Ondulatória e Óptica - Volume 2, 3ª edição, São Paulo, Editora Saraiva, 2017.

MARTINI, G, et al. **Conexões com a física.** 2ªed. São Paulo: Editora Moderna, 2013.
Manual do professor.

Kelley Cristina Schumacker

Caderno de Campo: (observações ocorridas durante ou após a aula)

Os alunos estavam agitados e não foi possível realizar todo o planejamento, apenas a Lei zero e a primeira Lei da termodinâmica foram feitas, e por ter dificuldades em relacionar uma oficina com o conteúdo, a estagiária optou por deixar a demonstração prática para sua oficina final.



INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE.
CURSO DE LICENCIATURA
EM FÍSICA

LFA0442
Seminários

Plano de Aula

Professor: Kelley Cristina Schumacker Data: 26/09/2018

Turma: 2E

Carga horária: 2 h/a

Turno: Vespertino

Duração: 45 min (uma aula)

Título: Termodinâmica

Objetivo Geral:

Compreender as leis que envolvem a termodinâmica, bem como os processos físicos que ocorrem devido a esses processos e transformações.

Objetivos específicos:

Compreender o funcionamento de simuladores computacionais;
Criar gráficos, através da análise de dados;
Trabalhar seguindo roteiro experimentais;

Conteúdos a serem trabalhados:

1ª Lei da termodinâmica;
Processo isovolumétrico;
Processos isobáricos;
Processos isotérmicos;
Trabalho realizado por um gás;

Metodologia:

Aula com simuladores computacionais, phet colorado e um simulador online.

Recursos Didáticos:

Computadores para cada aluno, projetor multimídia, folha A4,

Procedimento Didático:

Ação: Explicação sobre os simuladores que seriam utilizados;

Tempo previsto: 15 minutos.

Dinâmica: Exposição oral.

Ação: Explicação sobre o roteiro que os alunos deveriam seguir.

Tempo previsto: 10 minutos.

Dinâmica: Exposição oral.

Ação: Utilização dos simuladores e resolução do roteiro experimental

Tempo previsto: 65 minutos.

Dinâmica: Demonstração exercícios resolvidos, e exemplos do cotidiano.

Avaliação:

Instrumentos Avaliativos: Resolução das questões propostas no roteiro experimental baseado nos simuladores utilizados.

Critérios Avaliativos: Participação dos alunos e interação com os simuladores;

Referências:

MARTINI, G, et al. **Conexões com a física**. 2^aed. São Paulo: Editora Moderna, 2013. Manual do professor.

NUNES, T, M; **Modelagem e Simulações Computacionais: Uma abordagem para o Ensino de gases e termodinâmica no Ensino Médio**. (Dissertação de Mestrado). Florianópolis, 2016. 138 páginas.

Simuladores utilizados;

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/gas-properties

<https://www.stefanelli.eng.br/transformations-simulator/>

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/energy-forms-and-changes

Kelley Cristina Schumacker

Caderno de Campo: (observação ocorrida durante ou após a aula)

Os alunos gostaram de ter uma aula diferenciada e fora da sala de aula, pois os mesmos foram para o laboratório de informática. Alguns alunos demonstraram mais facilidade em trabalhar com os simuladores, e com a interpretação do roteiro, já outros mostraram um pouco mais de dificuldade, mas de forma geral, todos demonstraram grande interesse. Percebeu-se que os alunos tiveram um pouco de dificuldade na hora da criação dos gráficos, através dos dados obtidos nos simuladores.

Plano de Aula

Professor: Kelley Cristina Schumacker **Data:** 10/10/2018

Turma: 2E

Carga horária: 2 h/a

Turno: Vespertino

Duração: 45 min (uma aula)

Título: Termodinâmica

Objetivo Geral:

Compreender as leis que envolvem a termodinâmica, bem como os processos físicos que ocorrem devido a esses processos e transformações.

Objetivos específicos:

Compreender os processos cíclicos;

Entender o que são máquinas térmica e máquinas frigoríficas, bem como seu funcionamento;

Conseguir resolver exercícios sobre estes conteúdos;

Interpretação de gráficos;

Calcular trabalho realizado em um processo cíclico;

Conteúdos a serem trabalhados:

Processos cíclicos;

Processos irreversíveis;

Máquinas térmicas;

Enunciado de Celsius e Kelvin;

Máquinas frigoríficas;

Metodologia:

Aula expositiva e dialogada;

Recursos Didáticos:

Projeto multimídia, quadro, pincel.

Procedimento Didático:

Ação: Aplicação de um pré-teste;

Tempo previsto: 15 minutos.

Dinâmica: Exposição oral e escrita.

Ação: Processos cíclicos e resolução de exercícios

Tempo previsto: 30 minutos.

Dinâmica: Exposição oral.

Ação: Funcionamento de máquinas térmicas

Tempo previsto: 20 minutos.

Dinâmica: Exposição oral e visual

Ação: Funcionamento de máquinas frigoríficas

Tempo previsto: 20 minutos.

Dinâmica: Exposição oral e visual

Ação: Entrega de questões que os alunos terão que pesquisar em casa, e explicação da dinâmica para a primeira oficina.

Tempo previsto: 5 minutos.

Dinâmica: Exposição oral

Avaliação:

Instrumentos Avaliativos: Resolução das questões propostas

Critérios Avaliativos: Participação dos alunos

Referências:

NEWTON, Villas Bôas, HELOU, Ricardo Doca, GUALTER José Biscuola, Física - Termologia Ondulatória e Óptica - Volume 2, 3ª edição, São Paulo, Editora Saraiva, 2017.

MARTINI, G, et al. **Conexões com a física**. 2ªed. São Paulo: Editora Moderna, 2013. Manual do professor.

Kelley Cristina Schumacker

Caderno de Campo: (observação ocorrida durante ou após a aula)

Os alunos sempre são participativos e são uma turma boa para trabalhar, uma turma dedicada, nesta aula, havia dos professores de estágio acompanhado, então a turma ficou ainda mais calma e prestativa na aula. E como agora a estagiária já conhecem bem o ritmo da turma foi conseguido trabalhar todo o planejamento.

APÊNDICE C – Planejamento das Oficinas

Planejamento da Oficina

Plano de Aula para Oficina

Professor Estagiário: Kelley Cristina Schumacker

Turno: Vespertino

Instituição Concedente: IFC- *Campus* Concórdia

Série: 2º ano

Carga horária: 30 horas

Data: 17/10/2018

Turma: Curso técnico em Alimentos Integrado ao Ensino Médio

Título: Calculando a carga térmica de um ar-condicionado

Objetivos de Ensino: Compreender como o cálculo de carga térmica, neste caso do ar-condicionado pode ser útil no nosso cotidiano.

Objetivos de Aprendizagem: Determinar carga térmica, compreender o que significa *BTU*. Conseguir transformar *BTU* em *W*, e conseguir trabalhar com obtenção de dados.

Núcleo Conceitual: Metodologia: A metodologia utilizada será modelagem matemática, através de pesquisas em casa, obtenção de dados, e resolução da problemática lançada.

Recursos Didáticos:

- Trena
- Folha A4
- Projetor Multimídia
- Pincel
- Calculadora

Procedimento Didático:

1º momento:

Tempo previsto: 10 a 15 minutos.

Dinâmica: Na aula que antecede a oficina. Algumas perguntas serão passadas para que os alunos façam uma pequena pesquisa em casa, e tragam alguns dados para a realização da oficina.

2º momento:

Tempo previsto: 15 minutos

Dinâmica: Debates sobre a pesquisa que os alunos terão que trazer de casa, e sobre os dados que deverão trazer.

3º momento:

Tempo previsto: 15 a 20 minutos

Dinâmica: Explicação teórica de como calcular a carga térmica, e o que é *BTU*.

4º momento:

Tempo previsto: 45 minutos

Dinâmica: Os alunos serão divididos em duplas, para obtenção dos dados para cálculo da carga térmica necessária na sala de aula, e resolução do roteiro proposto.

Avaliação:

- **Crêterios:** Os crêterios analisados serãõ a participação e interação das duplas.
- **Instrumentos de Avaliação:** Resolução do roteiro a partir dos dados que serãõ obtidos.

Referências:

SOUZA, E,S,R; **Uma Experiência com Modelagem Matemática para a Abordagem de Conceitos de Física.**Acta Scientiae, v.14, n.2, maio/ago. 2012.

Observações:

Na aula que antecedeu a oficina só foi possível abordar o funcionamento geral das máquinas frigoríficas, mas como nesta oficina os alunos trabalham mais especificamente com o ar-condicionado, foi optado antes de iniciar a oficina fazer uma pequena explicação do funcionamento de geladeiras para melhor compreensão. Após, os alunos utilizaram os dados

que trouxeram de casa, que seria para calcular a carga térmica necessária no quarto deles, e depois obtiveram os dados da sala de aula para os cálculos.

Kelley Cristina Schumacker

Planejamento da Oficina

Plano de Aula para Oficina

Professor Estagiário: Kelley Cristina Schumacker

Turno: Vespertino

Instituição Concedente: IFC- *Campus* Concórdia

Série: 2º ano

Carga horária: 1,5 horas

Data: 14/10/2018

Turma: Curso técnico em Alimentos Integrado ao Ensino Médio

Título: Processos termodinâmicos e Leis da termodinâmica- através de experimentos de baixo custo

Objetivos de Ensino: Compreender de forma prática os processos que envolvem a termodinâmica.

Objetivos de Aprendizagem: Entender como ocorre o trabalho em um gás por processo isobárico, perceber a 1ª Lei da Termodinâmica e o funcionamento de uma máquina térmica e ar-condicionado na prática.

Núcleo Conceitual: Metodologia: A metodologia utilizada será experimentos de baixo custo.

Recursos Didáticos:

- Lata de refrigerante
- Seringa
- Suporte de madeira
- Cata-vento

- Garrafa pet
- Álcool
- Fogo
- Água gelada
- Água aquecida
- Bexiga
- Caixa de isopor
- Cooler de computador
- Fonte de 12V
- Extensão
- Fonte para aquecimento da água
- Recipiente para aquecer a água e que possamos inserir a garrafa pet

Procedimento Didático:

1º momento:

Tempo previsto: 5 a 10 minutos.

Dinâmica: Organização da sala em semicírculo para melhor visualização dos experimentos. E separação das duplas.

2º momento:

Tempo previsto: 15 a 20 minutos

Dinâmica: Pedir um voluntário entre os alunos para realizar o primeiro experimento, que é para a visualização do processo isobárico, o aluno deverá seguir o roteiro para realizar o experimento.

3º momento:

Tempo previsto: 15 a 20 minutos

Dinâmica: Com outro aluno realizar o experimento simulando uma máquina térmica, para a visualização das Leis da Termodinâmica, o aluno deve seguir o roteiro para a montagem.

4º momento:

Tempo previsto: 15 a 20 minutos

Dinâmica: Os alunos poderão mexer o visualizar o ar-condicionado de baixo custo, levado pela estagiária.

5º momento:

Tempo previsto: 30 a 35 minutos

Dinâmica: Os alunos responderam às perguntas conceituais, relacionadas com os experimentos observados.

6º momento:

Tempo previsto: 10 a 25 minutos

Dinâmica: Responder ao pós teste, que englobou todos os pré-testes aplicados nas aulas anteriores.

Avaliação:

- **Crêterios:** Os crêterios analisados serãõ a participação e interação das duplas.
- **Instrumentos de Avaliação:** Resolução do roteiro a partir dos experimentos observados.

Referências:

BÔAS, N,V; DOCA, R,H; BISCOOLA, G, J; **Física 2, termologia, ondulatória, ópticas.** 3ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2017.

Observações:

Todos os experimentos utilizados nessa oficina, foram produzidos antes pela estagiária. Na aula os alunos teriam apenas que montar seguindo o roteiro e observar os fenômenos que ocorriam

Kelley Cristina Schumacker

APÊNDICE D – Material didático produzido



INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE. CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

Pré-teste

Professor: Kelley Cristina Schumacker

Turma: 2E

Aluno (a):

Data:05/09/2018

Com base em seus conhecimentos, responda de maneira objetiva as seguintes questões;

- 1- Tratando-se de gases perfeitos, o que você entende por **energia interna, trabalho e calor?**
- 2- Você acha que um gás pode realizar trabalho?
- 3- O que é preciso para variar a energia interna de um gás?
- 4- Um sistema com dois corpos em equilíbrio térmico, ao serem colocados em contato térmico com um terceiro corpo, o que ocorre? Há ou não um fluxo de calor?
- 5- Por que a panela de pressão, tem a vantagem de cozinhar os alimentos com mais rapidez?

Pré-teste

Professor: Kelley Cristina Schumacker

Turma: 2E

Aluno (a):

Data: 10/10/2018

Com base em seus conhecimentos, responda de maneira objetiva as seguintes questões;

- 1- O que é uma máquina térmica? Cite um exemplo que você conhece.
- 2- Quando falamos em refrigeradores o que você entende?
- 3- Em dias chuvosos todo mundo sabe que é complicado para secar roupas e sapatos. Uma “ideia brilhante” seria colocar as meias, por exemplo, para secar atrás da geladeira. Quais as consequências que esse ato pode trazer? Em que isso influencia no funcionamento da geladeira?
- 4- O calor pode ser transferido de um corpo de menor temperatura para um com maior temperatura?

Pós-Teste

Estagiária: Kelley Cristina Schumacker

Aluno:

Turma: 2E

1. Para que serve a energia interna de um gás e o que é preciso para variar ela?
2. Quando um gás pode realizar trabalho, e quando o trabalho realiza trabalho e sofre trabalho?
3. Um sistema com dois corpos em equilíbrio térmico, ao serem colocados em contato térmico com um terceiro corpo, o que ocorre? Há ou não um fluxo de calor?
4. O que é uma máquina térmica? Cite um exemplo que você conhece.
5. Quando falamos em refrigeradores o que você entende?
6. Em dias chuvosos todo mundo sabe que é complicado para secar roupas e sapatos. Uma “ideia brilhante” seria colocar as meias, por exemplo, para secar atrás da geladeira. Quais as consequências que esse ato pode trazer? Em que isso influencia no funcionamento da geladeira?
7. O calor pode ser transferido de um corpo de menor temperatura para um com maior temperatura?

Atividade com simulação computacional

Estagiária: Kelley Cristina Schumacker

Alunos:

Turma: 2E

1- Com o simulador “*Propriedade dos gases*” aberto, explore o simulador para que você possa compreender as variáveis de estado dos gases e as transformações gasosas. Inserir régua=selecionar o ícone “*ferramentas e opções*” e marcar “*régua*”, você precisará dela para medir o volume do recipiente.

2- Após a utilização do 1º simulador (“*Propriedade dos gases*”), utilize a tabela abaixo para Anotar os dados obtidos;

Volume constante		Temperatura constante		Pressão constante	
$T (K)$	$P (atm)$	$V(u.v)$	$P (atm)$	$T (K)$	$V(u.v)$

2- Com os dados obtidos na tabela acima, construa os 3 gráficos respectivos, $P \times T$, $P \times V$, $V \times T$. Comente o que vocês perceberam em cada gráfico em relação às variáveis de estado

3- A partir do 2º simulador (*trabalho realizado por um gás*), responda;

- Explique quando o trabalho é realizado pelo gás ou sobre o gás.
- Analisando o simulador, quando um gás está sofrendo um trabalho, e sua pressão aumenta, o que ocorre com seu volume?
- Quando um gás está realizando um trabalho, e sua pressão diminui, o que ocorre com seu volume?

4- Analisando o 3º simulador (*formas de energia e transformações*), responda;

- O que ocorre com o gás quando fornecemos calor para o sistema, quais as duas formas desse calor ser aproveitado, mostre através da equação da 1ª Lei da Termodinâmica, como pode justificar sua resposta.

Simuladores utilizados:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/gas-properties

<https://www.stefanelli.eng.br/transformations-simulator/>

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/energy-forms-and-changes

Calculando a carga térmica de um ar condicionado

Estagiária: Kelley Cristina Schumacker

Alunos:

Turma: 2E

1- Anote na tabela abaixo, os dados correspondentes para o cálculo da carga térmica necessária, para um ar condicionado instalado em seu quarto;

Área(m^2)	Nº pessoas	Nº equipamentos eletrônicos	Contato com a incidência da luz solar? (SIM/NÃO)	Nº lâmpadas

- Com os dados acima, calcule em BTH/h , qual seria a carga térmica que você precisaria nesse ambiente.
- Utilizando a constante de 0,293 para transforma BTU em, calcule em $Watt$, qual seria essa potência W .

2- Anote na tabela abaixo, os dados correspondentes para o cálculo da carga térmica necessária, para um ar condicionado instalado na sala de aula;

Área(m^2)	Nº pessoas	Nº equipamentos eletrônicos	Contato com a incidência da luz solar? (SIM/NÃO)	Nº lâmpadas

- Com os dados acima, calcule em BTH/h , qual seria a carga térmica que você precisaria nesse ambiente.
- Utilizando a constante de 0,293 para transforma BTU em, calcule em $Watt$, qual seria essa potência W .

Roteiro para atividades experimentais

Professora estagiária: Kelley Cristina Schumacker

Aluno:

Turma: 2E

Trabalho de um gás em um processo termodinâmico:

1° Atividade da garrafa pet

Materiais utilizados

- 1 garrafa pet;
- 1 bexiga;
- 1 recipiente com água fria;
- 1 recipiente com água quente;
- 1 fonte de calor para o aquecimento da água;

Montagem

- 1° passo, colocar a bexiga na parte superior da garrafa (na abertura)
- 2° inserir a fonte de aquecimento em um dos recipientes com água, e aquecer a mesma;
- 3° coloque a garrafa com a bexiga no recipiente com água quente, espere um pouco e observe.
- 4° após isso coloque insira garrafa no recipiente com água fria e veja o que acontece;

Responda

1. O que você observou como a bexiga, quando a garrafa esteve em contato com a água quente. Por que você acha que isso ocorreu? Explique com suas palavras e com base nos conteúdos já estudados.
2. O que você observou como a bexiga, quando a garrafa esteve em contato com a água fria. Por que você acha que isso ocorreu? Explique com suas palavras e com base nos conteúdos já estudados.
3. O que está sendo mantido constante nesse procedimento?
4. O que ocorreu com o volume em ambas as situações?

Primeira Lei da termodinâmica e segunda Lei da termodinâmica:

2° Motor a vapor

Materiais utilizados

- 1 suporte para a lata;
- 1 lata de refrigerante vazia;
- 1 cata-vento;
- 1 álcool;
- 1 fósforo;

Água;
1 seringa;
Algodão;

Montagem

1º insira água na lata, pelo furo que se encontra nela, com a ajuda de uma seringa;
2º coloque a lata sob o suporte, em frente ao cata-vento;
3º com o auxílio da professora, coloque o algodão já com álcool, no recipiente abaixo da lata, com o auxílio de um fósforo coloque fogo no algodão.

Responda

5. O calor pode ser utilizado para realizar trabalhos mecânico?
6. Neste experimento, qual parte seria a fonte de calor?
7. Com suas palavras, escreva o que ocorre no interior da lata, para que ocorra esse trabalho, quais conceitos físicos ele envolve?
8. Todo o calor recebido é utilizado para realizar trabalho?

Máquinas Frigoríficas:

2º ar-condicionado

Materiais utilizados

1 caixa de isopor com tampa;
1 cooler de computador;
1 fonte de 12V;
1 gelo;

Montagem

1º insira o gelo no interior da caixa;
2º feche a tampa da caixa;
3º ligue a fonte de alimentação;

Responda

9. Como o ar frio está sendo jogado para fora da caixa?
10. O que ocorre com o ar quente ali presente?
11. Com suas palavras, escreva o que ocorre basicamente com uma máquina frigorífica;

Sugestão questões para paralela

Estagiária: Kelley Cristina Schumacker

Alunos:

Turma: 2E

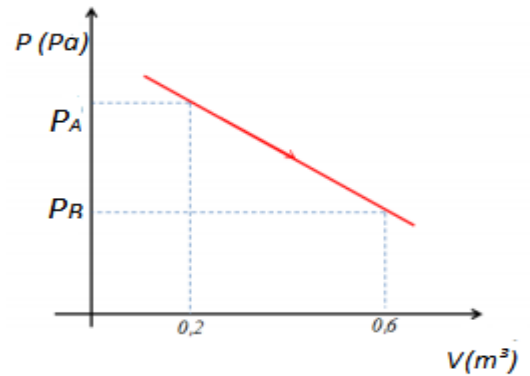
- 1- Quando acontece uma transformação adiabática, um sistema se encontra isolado termicamente, e desse modo não troca calor com a sua vizinhança (o meio ambiente). Explique porque, apesar desse isolamento térmico, esse sistema pode aumentar a sua temperatura nesse tipo de transformação termodinâmica.
2. Quando acontece uma transformação isotérmica, um sistema mantém constante a sua temperatura ao longo de todo processo. Explique como a sua temperatura pode se manter constante, se esse sistema estiver absorvendo calor de sua vizinhança.
3. Quando acontece uma transformação isobárica, um sistema mantém constante a sua pressão ao longo de todo processo. Explique como a sua pressão pode se manter constante, se esse sistema estiver absorvendo calor de sua vizinhança.
- 4- Quando acontece uma transformação isovolumétrica, um sistema mantém constante o seu volume ao longo de todo processo. Explique como o seu volume pode se manter constante, se esse sistema estiver absorvendo calor de sua vizinhança.
5. A tabela mostra como varia o volume V de certa quantidade de um gás ideal em função da temperatura absoluta T .

Volume (m³)	Temperatura (K)
10	50
15	75
30	150
40	200
90	450

- a) determine o tipo de transformação que o gás está sofrendo.
- b) trace o gráfico correspondente a essa transformação.

6- O gráfico a seguir mostra uma transformação sofrida por 4 mols de um gás perfeito a partir de um estado A, com temperatura de 500 K, até outro estado B, em que a temperatura vale 600 K.

- quais os valores de pressão em A e em B?
- qual o trabalho do gás no processo?
- O trabalho foi realizado pelo gás ou sobre o gás?



7- Em uma transformação isobárica, a pressão do gás é _____, e sua energia interna aumenta se a diferença entre _____ e _____ for _____.

- constante, calor, trabalho, nula.
- constante, calor, trabalho, negativa.
- variável, calor, trabalho, positiva.
- constante, trabalho, calor, negativa.
- constante, calor, trabalho, positiva.

8-Certa máquina térmica recebe 500 J de calor e realiza um trabalho de 125 cal. Sendo 1 cal = 4 J, marque a alternativa correta.

- essa máquina contraria a primeira lei da Termodinâmica.
- A máquina não contraria a segunda lei da Termodinâmica.
- O rendimento dessa máquina é de 25%.
- A máquina não contraria a primeira lei da Termodinâmica, que trata sobre a conservação da energia.
- Como o rendimento da máquina é de 25%, podemos afirmar que ela não contraria a primeira lei da Termodinâmica.

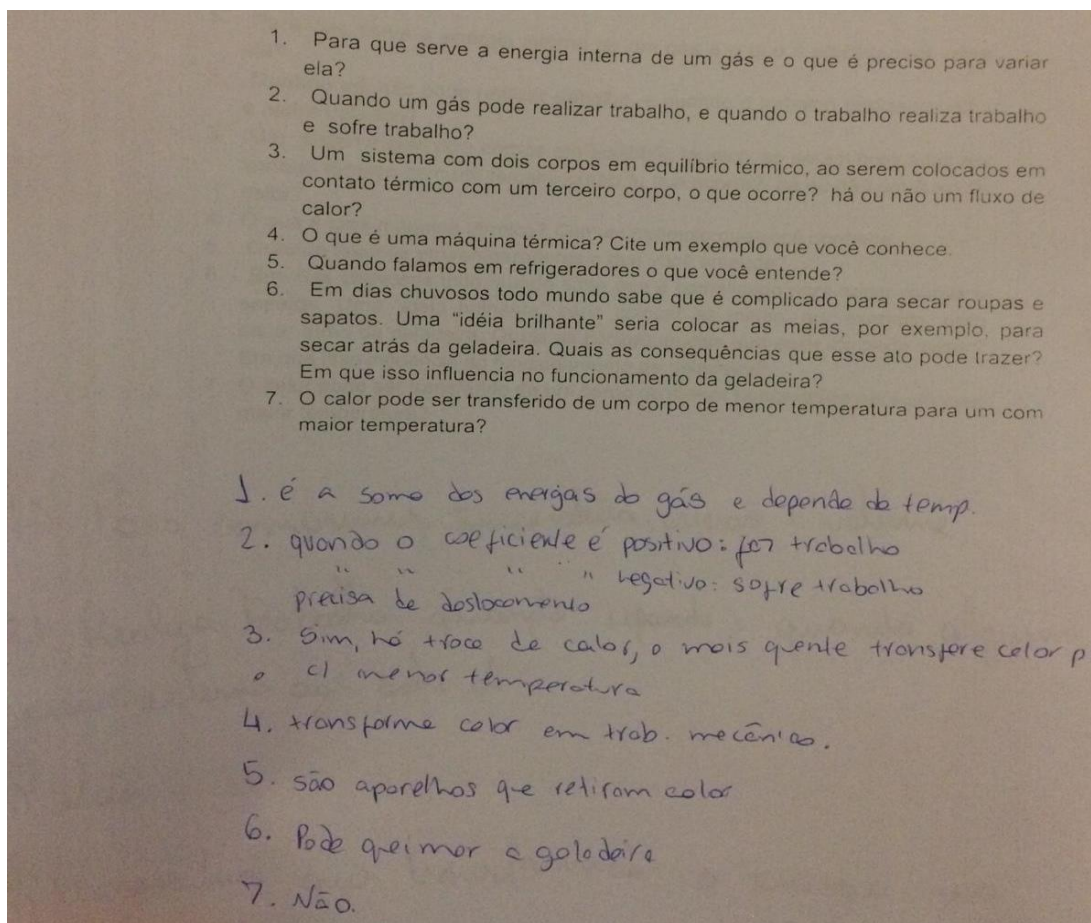
9- A respeito Da primeira lei da Termodinâmica, marque a alternativa incorreta:

- em uma transformação isotérmica, a variação da energia interna é nula.
- A primeira lei da Termodinâmica trata da conservação da energia.
- em uma transformação isocórica, não haverá realização de trabalho.
- em uma transformação adiabática, o trabalho será realizado sobre gás quando a variação da energia interna é positiva.
- A primeira lei da Termodinâmica diz que o calor fornecido a um gás é igual à soma do trabalho realizado pelo gás e a sua variação da energia interna

10- Um gás ideal sofre uma transformação: absorve 150 cal de energia na forma de calor e expande-se, realizando um trabalho de 300 J. Considerando 1 cal = 4,2 J, a variação da energia interna do gás (ΔU) é?

APÊNDICE E – Atividades desenvolvidas pelos alunos

Figura 14- Pós – teste respondido por alunos



Fonte: A autora (2018)

Figura 15- Segundo pré-teste aplicado, respondido por aluno

- 1) Uma máquina para manter a temperatura constante ou desejada.
- 2) Algum tipo de máquina, que tem como objetivo manter a temperatura baixa de produtos ou alimentos.
- 3) Uma consequência pode ser que a meia es quente muito e pegue fogo. Na minha opinião, isso não causa nenhuma influência no funcionamento da geladeira.
- 4) Sim

Fonte: A autora (2018)

Figura 16- Primeiro pré-teste aplicado, respondido por aluno

Com base em seus conhecimentos, responda de maneira objetiva as seguintes questões;

1- Tratando-se de gases perfeitos, o que você entende por **energia interna, trabalho e calor?**

2- Você acha que um gás pode realizar trabalho?

3- O que é preciso para variar a energia interna de um gás?

4- Um sistema com dois corpos em equilíbrio térmico, ao serem colocados em contato térmico com um terceiro corpo, o que ocorre? há ou não um fluxo de calor?

5- Por que a panela de pressão, tem a vantagem de cozinhar os alimentos com mais rapidez?

1- A energia interna se refere a agitação das moléculas e as suas colisões e o calor também se refere a essa agitação e também a temperatura, já o trabalho tem haver com a força e a quantidade de calor.

2- Sim

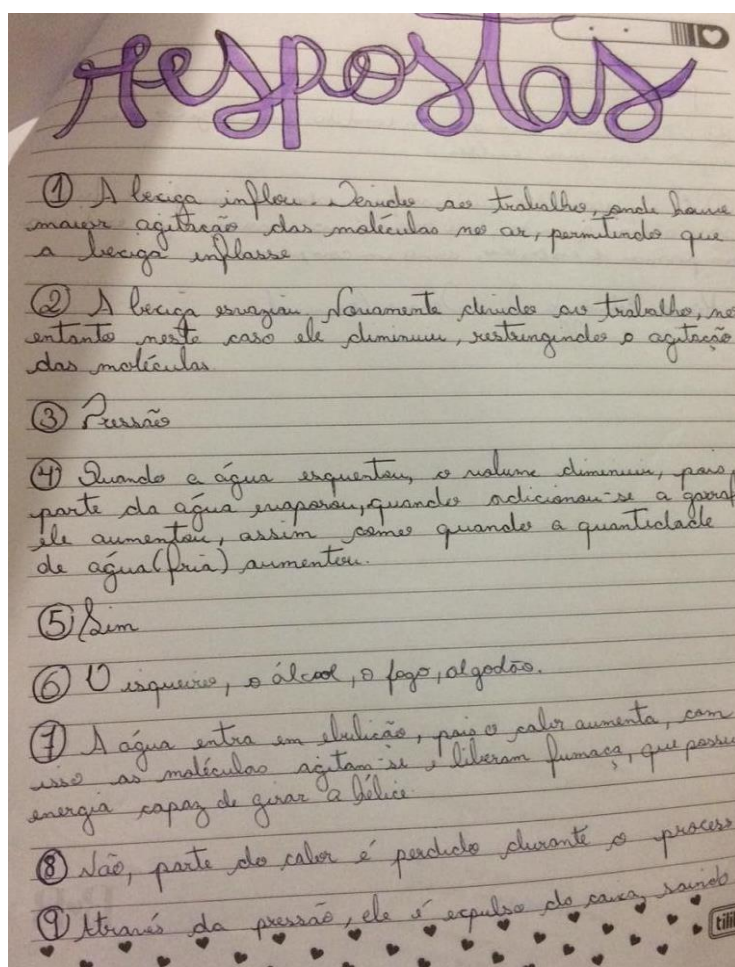
3- Pressão, temperatura e volume.

4- Ocorre transferência de calor até o equilíbrio térmico.

5- Porque a panela consegue manter a pressão mais elevada, o que consequentemente aumenta a temperatura.

Fonte: A autora (2018)

Figura 17- Roteiro Sobre Experimentos baixo custo, respondido por alunos



Fonte: A autora (2018)

Figura 18- Roteiro sobre Carga térmica, respondido por alunos

1- Anote na tabela abaixo, os dados correspondentes para o cálculo da carga térmica necessária, para um ar condicionado instalado em seu quarto;

Área(m ²)	Nºpessoas	Nº equipamentos eletrônicos	Contato com a incidência da luz solar? (SIM/NÃO)	Nº lâmpadas
9	1	2	Sim	1

a. Com os dados acima, calcule em BTH/h, qual seria a carga térmica que você precisaria nesse ambiente. **10.125 Btu**

b. Utilizando a constante de 0,293 para transforma BTU em , calcule em Watt, qual seria essa potência W. **2966,625 W**

2- Anote na tabela abaixo, os dados correspondentes para o cálculo da carga térmica necessária, para um ar condicionado instalado na sala de aula.

Área(m ²)	Nºpessoas	Nº equipamentos eletrônicos	Contato com a incidência da luz solar? (SIM/NÃO)	Nº lâmpadas
71,3972	36	6	Sim	12

c. Com os dados acima, calcule em BTH/h, qual seria a carga térmica que você precisaria nesse ambiente. **100.0479 Btu**

d. Utilizando a constante de 0,293 para transforma BTU em , calcule em Watt, qual seria essa potência W.

Fonte: A autora (2018)

Figura 19- Roteiro respondido carga térmica

$(10 \times 600) + (4 \times 800) + (13 \times 800) + (6 \times 300)$
 $6000 + 3200 + 10.400 + 1.800 = 21.400 \text{ BTU}$

quarto

$21.400 \text{ BTU} \times 0,293 = 6.270,2 \text{ W}$

$(70,4 \times 600) + (36 \times 800) + (5 \times 800) + (6 \times 300) = 103.400 \text{ BTU}$

sala

$103.400 \cdot 1,25 = 129.250 \text{ BTU}$

$129.250 \cdot 0,293 = 37.870 \text{ W}$

Área(m²)	Nº pessoas	Nº equipamentos eletrônicos	Nº incidências de luz solar? (SIM/NÃO)	Como a incidência de luz solar? (SIM/NÃO)
10	4	13	sim	quarto
70,4	36	5	sim	sala

Fonte: A autora (2018)



Sugestões de experimentos de fácil acesso para o ensino de termodinâmica

Suggestions of easy experiments for the teaching of thermodynamics

EDIVANIA SOUSA BISPO, CLÓVES GONÇALVES RODRIGUES *

Escola de Ciência Exatas e da Computação da PUC Goiás, Goiânia, GO

Resumo

No presente trabalho apresentamos a construção de alguns experimentos didáticos com a utilização de materiais de fácil acesso, de baixo custo ou recicláveis, para facilitar a compreensão do ensino de física na área de Termodinâmica, potencializando assim o processo de ensino-aprendizagem dos alunos de ensino fundamental e médio. Foram elaborados roteiros explicativos (com sugestões de montagem e aplicação em sala de aula), enfatizando os princípios físicos envolvidos em cada experimento e a teoria necessária para a sua compreensão. Todos os experimentos foram elaborados com materiais recicláveis e facilmente disponíveis. O intuito deste tipo de experimento é estimular a curiosidade e interesse dos alunos para o estudo de ciências, tornando as aulas de Física mais interessantes e atrativas para os alunos.

Palavras-chave: Experimentos didáticos. Materiais recicláveis para ensino. Termodinâmica.

Abstract

In this paper we present the construction of some didactic experiments with the use of materials of easy access, low cost or recyclable, to facilitate the understanding of the teaching of physics in the discipline of thermodynamics, thus enhancing the teaching-learning process of elementary school students. Explanatory scripts were elaborated, emphasizing the physical principles involved in each experiment and the theory necessary for their understanding. All experiments were made with recyclable and easily available materials. The purpose of this type of experiment is to stimulate students curiosity and interest in the study of science by making physics classes more interesting and attractive to students.

Keywords: Didactic experiments. Recyclable materials for teaching. Thermodynamics.

*cloves@pucgoias.edu.br

I. INTRODUÇÃO

Existe uma grande carência de recursos para o ensino de ciências em geral, e em especial para o ensino de Física (BUENO; KOVALICZN, ; COSTA, 2012; MELO, 2015). Assim, a finalidade deste trabalho foi a criação de experimentos de baixo custo para a disciplina de termodinâmica com aplicação imediata na sala de aula, orientando e facilitando o trabalho de professores de Física. A execução de experimentos é de grande importância para melhorar a compreensão dos fenômenos físicos envolvidos e para despertar a curiosidade dos alunos (ARRIBAS, 1988; BERLITZ; ÁVILA, 1996; FOLHAIS, 2000; VALADARES, 2000).

Nos últimos anos tem-se notado o aumento do desinteresse dos discentes (MELO, 2015) para com o aprendizado de ciências exatas, principalmente na área de Física. Pelo fato de ter uma certa “complexidade”, muitos alunos criam em si um sentimento de rejeição para com essa disciplina, tendo em vista também que a maior parte das escolas de ensino médio não possuem laboratórios (COSTA, 2012) para aguçar a curiosidade e o interesse dos alunos. O Brasil está mundialmente entre os países com a pior situação no ensino de ciências em nível médio e fundamental (SANTOS; RIBEIRO, 2016). É raro que nossos estudantes tenham acesso a laboratórios onde possam manipular objetos reais de seu estudo e perceber como se aplicam os conhecimentos adquiridos.

As aulas ditas “monótonas” fazem com que professores e alunos se distanciem do real motivo de ensinar e aprender ciência. A criação de experimentos caseiros é um dos caminhos propostos pelo presente trabalho para que ressurgja o interesse e a curiosidade para com o estudo das ciências.

Como exemplo, podemos citar o projeto dos kits “Aventuras na Ciência” o qual nasceu da convicção de um grupo de cientistas de que poderiam dar uma contribuição relevante ao ensino de ciências estimulando a curiosidade inata e recuperando o prazer de aprender como as coisas funcionam, usando recursos individuais para experimentação, gerando minilaboratórios caseiros (NUSSENZVEIG, 2018). Os autores dos kits mostrados na Fig. 1 são: Moysés Nussenzveig, Beatriz Barbuy, Henrique Eisi Toma, Eliana Dessen, Mayana Zatz, Eduardo Colli, Vanderlei Salvador Bagnato.

Figura 1: Autores dos kits “Aventuras na Ciência”. Ao fundo, da esquerda para a direita: Beatriz Barbuy, Moysés Nussenzveig, Mayana Zatz, e Eduardo Colli. A frente, da esquerda para a direita: Henrique Toma, Eliana Dessen, e Vanderlei Bagnato.



Fonte: (NUSSENZVEIG, 2018, p. 7)

Em 2013, estes kits foram distribuídos a centenas de escolas públicas selecionadas pela CAPES. Em 2014, foi anunciado pela então presidenta Dilma Rousseff em seu blog que, ainda naquele ano, seriam distribuídos até um milhão de kits às escolas públicas do país. Depois disso, o Brasil teve cerca de 10 ministros da educação. A anunciada distribuição dos kits até hoje não se realizou! O kit inicial de ótica vem sendo utilizado, desde 2015 por Daniel Kleppner (MIT, USA) num programa conjunto MIT/Harvard para treinamento de professores (NUSSENZVEIG, 2018). Daniel Kleppner tem um kit sobre sua escrivinha e escreveu para o Prof. Moysés Nussenzveig a seguinte carta:

Apreciamos os kits pela forma transparente de ilustrar os conceitos, especialmente porque podem ser empregados tanto em demonstrações perfeitas para alunos de nível ginásial como em medições quantitativas por alunos do ensino médio. Também os apreciamos pela construção mecânica simples e robusta, tornando-os muito mais práticos para uso em salas de aula do que equipamentos mais sofisticados.
(NUSSENZVEIG, 2018)

Esta declaração de Daniel Kleppner nos desperta para o enorme potencial que a construção de experimentos para aplicação direta em sala de aula pode trazer para nossos estudantes.

É notório que a utilização de experimentos em laboratórios sempre facilitou o entendi-

mento de muitos conteúdos. Além disso, a ciência no geral vai muito além de resumos e cálculos. Ela surge da curiosidade de como as coisas funcionam e o porquê que acontecem, todavia não necessariamente é preciso ter equipamentos sofisticados para a demonstração dos conteúdos considerados muitas vezes como “complexos”.

Mais especificamente, neste trabalho foram elaborados experimentos didáticos de baixo custo na área de termodinâmica e os seus respectivos roteiros de construção. Os seguintes tópicos foram abordados: 1) Termologia e Dilatação dos Líquidos, 2) Dilatação dos Gases pelo Calor, 3) Propagação do Calor nos Fluidos, 4) Absorção do Calor, 5) Condução Térmica em Metais, 6) Irradiação, 7) Condensação, 8) Absorção de Calor na Evaporação-Condensação, 9) Convecção Térmica. Estes tópicos foram divididos em duas partes: *dilatação térmica* e *transferência de calor*.

A seguir segue o desenvolvimento detalhado de cada um dos experimentos.

II. DILATAÇÃO TÉRMICA

As consequências habituais de mudanças na temperatura são variações no tamanho dos objetos e mudanças de fase de substâncias. Consideremos as dilatações que ocorrem sem mudanças de fase. Dá se o nome de dilatação térmica ao aumento do volume de um corpo ocasionado pelo aumento de sua temperatura. O aumento de temperatura causa um aumento no grau de agitação de suas moléculas e conseqüentemente um aumento na distância média entre as mesmas. A dilatação ocorre de forma mais significativa nos gases, de forma intermediária nos líquidos e de forma menor nos sólidos (ALONSO; FINN, 1992; HALLIDAY; WALKER, 2009).

II.1. Experimento 1: Construção de um Termômetro

Objetivo

Comprovar experimentalmente que em geral, os líquidos ao serem aquecidos aumentam o seu volume e ao serem resfriados, ocorre o processo contrário. Construir um instrumento para medir temperaturas.

Materiais Necessários

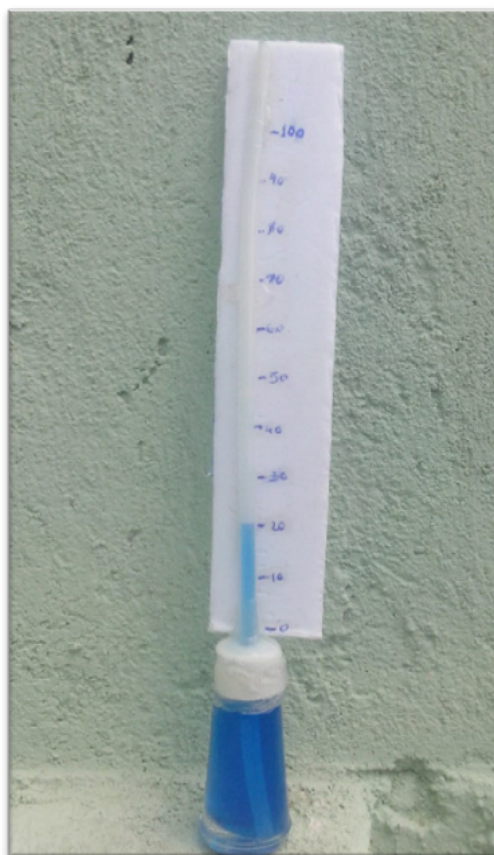
- Vidro de esmalte vazio. Foram feitas algumas tentativas com outros recipientes como, por exemplo, lâmpadas de tungstênio, mas pelo fato de ser frágil e pela dificuldade de ser encontrada optou-se pela utilização do vidro de esmalte que é mais resistente e fácil de ser adquirido.
- Canudo com um diâmetro de 4 mm ou um tubo de caneta esferográfica limpo.
- Seringa.
- Álcool 70
- Caneta.
- Régua de 30 cm.
- Termômetro de mercúrio ou similar.
- Corante.

- Pistola de Cola quente ou alguma massa tipo Durepox.
- Alicate.
- Pregos.
- Placa de isopor.

Construção

- Em um recipiente coloque aproximadamente 80 ml de álcool e misture corante ao mesmo.
- Faça um furo na parte superior da tampa com um prego aquecido até atingir uma circunferência de aproximadamente 4 mm.
- Introduza o canudo na tampa de forma que ele fique justo e perfeitamente encaixado.
- Retire todo o resíduo do vidro de esmalte e deixe-o secar (veja Fig. 2).

Figura 2: *Termômetro.*



Fonte: trabalho original.

Procedimentos

- Com a ajuda de uma seringa encha com álcool, já misturado com corante, o vidro de esmalte até transbordar e tampe-o.

- Vede toda tampa e as laterais do canudo com cola quente ou durepox para que o álcool não evapore.
- Verifique se está corretamente encaixado e vedado.
- Cole uma placa de isopor comprimido na parte de trás do canudo para fazer as escalas termométricas.
- Coloque o vidro em um recipiente com água quente, cuja temperatura é conhecida por um termômetro de mercúrio ou digital. Logo após verifique e marque com uma caneta a altura do líquido. Este será o primeiro valor base de seu termômetro (veja Fig. 2).
- Coloque o vidro em um local frio (congelador) ou em um recipiente com água gelada, cuja temperatura é conhecida por um termômetro de mercúrio ou digital. Espere alguns minutos e marque novamente a altura do líquido. Este será o segundo valor base de seu termômetro.
- Neste momento pode ser demonstrado para os alunos como é feita a conversão de escalas de temperatura, tomando os dois valores base do seu termômetro.
- Perguntas sugeridas: a) Por que o álcool expande quando colocado em um recipiente com água aquecida? b) Como se deu a equação de transformações de escalas?

II.2. Experimento 2: Dilatação de Gases pelo Calor

Objetivo

Mostrar que, assim como os líquidos, os gases também sofrem expansão quando aquecidos e contração quando resfriados.

Materiais Necessários

- Garrafa de vidro com gargalo sem defeito.
- Bexiga.
- Recipiente com água fria.
- Recipiente com água quente.

Construção

- Coloque em um recipiente 500 ml de água quente e em outro a mesma quantidade de água fria (veja Fig. 3).
- Limpe a garrafa e deixe-a secar.

Figura 3: Recipiente com água quente (a) e com água fria (b).

(a) Com água quente.



(b) Com água fria.



Fonte: trabalho original.

Procedimentos

- Pegue a bexiga e envolva no gargalo da garrafa.
- Coloque a garrafa dentro do recipiente com água quente.
- Observe que a bexiga depois de aproximadamente 25 segundos estará cheia (veja Fig. 3 (a)).
- Coloque a garrafa dentro do recipiente com água fria.
- Observe que a bexiga irá esvaziar-se (veja Fig. 3 (b)).
- Neste momento o docente pode fazer algumas referências ao cotidiano dos alunos por exemplo voo de balões.
 - Pergunta sugerida: Por que a bexiga se expande do seu tamanho inicial, se não a nada visivelmente na garrafa?

II.3. Experimento 3: Um Segundo Experimento sobre Dilatação dos Gases pelo Calor

Objetivo

Mostrar que, assim como os líquidos, os gases também sofrem expansão quando aquecidos e contração quando são resfriados.

Materiais Necessários

- Garrafa pet 200 ml.
- Vasilha com água quente.
- Vasilha com água fria.

Procedimentos

- Com uma garrafa pet aberta coloque a mesma dentro de uma vasilha com cerca de 700 ml de água quente para que o ar dentro da garrafa aqueça. Atenção ao manusear recipientes com líquidos em alta temperatura, pois existe risco de ocorrer algum acidente.
- Deixe por aproximadamente 30 segundos e em seguida tampe-a.
- Retire a garrafa da vasilha com água quente.
- Em seguida coloque a garrafa tampada dentro da vasilha com água fria contendo a mesma quantidade água (veja Fig. 4).
- Observe que a garrafa irá se contrair rapidamente.
- O professor pode usar este experimento como exemplo para explicar como ocorre a transformação, conhecida como Lei de Charles/Gay-Lussac.

Figura 4: *Transformação dos gases.*

(a) *Garrafa colocada em água quente.*



(b) *Garrafa colocada em água fria.*



Fonte: trabalho original.

III. TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Existem três mecanismos de transferência de calor: *condução*, *convecção* e *radiação*.

No processo de *condução de calor* o calor é transferido entre dois sistemas através de um meio material que os une. Suponha que a extremidade de uma barra metálica seja colocada na chama de um fogão. Com o tempo, pode-se perceber que o calor se propaga pela barra. À medida que recebem calor da chama, os átomos ou moléculas da estrutura interna do metal vibram mais intensamente, ganham energia térmica. Esse movimento vibratório se transmite de átomo para átomo, de molécula para molécula, em interações sucessivas. Através dessas interações, a energia cinética de cada partícula é transferida a

outra. Essa transferência de energia cinética é a transferência do calor. Na condução não há transporte de matéria durante o processo. Um dos primeiros cientistas a desenvolver estudos detalhados sobre transmissão de calor foi o físico e matemático Jean-Baptiste Joseph Fourier (ALONSO; FINN, 1992; HALLIDAY; WALKER, 2009).

No processo de transferência de calor por *convecção* existe o deslocamento de matéria. Este processo acontece quando, por exemplo, um fluido entra em contato com um objeto cuja temperatura é maior que a do fluido. A temperatura da parte do fluido que está em contato com o objeto quente aumenta e essa parte do fluido se expande ficando menos densa. Pelo fato do fluido expandido ser mais leve que o fluido que o cerca, a força de empuxo o faz subir. O fluido mais frio escoar para tomar lugar do fluido mais quente que sobe, e este processo pode continuar indefinidamente (ALONSO; FINN, 1992; HALLIDAY; WALKER, 2009).

No processo de transferência de calor por *radiação* a energia é trocada por meio de ondas eletromagnéticas. Estas ondas eletromagnéticas são chamadas de “radiação térmica” para distingui-las dos sinais eletromagnéticos e da radiação nuclear. No processo de radiação não é necessário que exista um meio material para que o calor seja transferido (ALONSO; FINN, 1992; HALLIDAY; WALKER, 2009).

III.1. Experimento 1: Condução Térmica em Metais

Objetivo

Demonstrar experimentalmente a transferência gradual de calor ao longo de um fio metálico.

Conceito Teórico

A condução térmica existente nos sólidos ocorre através da agitação dos átomos que constituem o material. Não há, entretanto, transporte de matéria durante o processo. Um dos primeiros cientistas a desenvolver estudos detalhados sobre transmissão de calor foi o físico e matemático Jean-Baptiste Joseph Fourier.

Materiais Necessários

- Fio de cobre com aproximadamente 1,80 mm de largura.
- Duas velas grandes.
- Suporte de madeira.
- Isqueiro.
- Cola quente.
- Estilete.

Construção

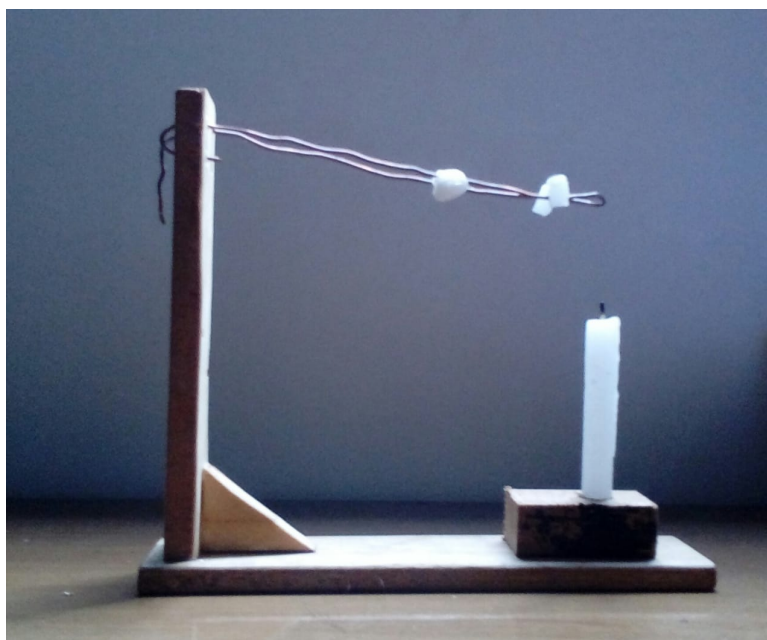
- Corte quatro pequenos pedaços de uma das velas e faça um furo no centro com a mesma medida que o fio.
- Separe um fio de cobre com aproximadamente 90 cm de comprimento.

- Utilize para a montagem do suporte dois pedaços de madeira de 18 cm.

Procedimentos

- Pegue os dois pedaços de madeira e cole um no outro em formato de L e espere secar (veja Fig. 5).
- Enrole o fio de cobre em uma das extremidades do suporte deixando cerca de 45 cm do fio sobrando.
- Faça com o fio o formato de um U com aproximadamente 16 cm de comprimento.
- Coloque o fio devidamente preso ao suporte.
- Separe os quatro pedaços da vela e coloque dois em cada lado do fio e deixe-os a uma distância de 5 cm um do outro para melhor compreensão do experimento.
- Coloque a vela no suporte em um ponto que fique perto da extremidade do fio. Foi utilizado um suporte extra na base da vela devido ao seu tamanho que era inferior ao tamanho do suporte feito para o fio.
- Acenda a vela. Atenção, tenha muito cuidado ao manusear isqueiros e velas. São elementos que possuem certo grau de periculosidade e qualquer descuido pode causar danos.
- Logo após observe como o processo de condução ocorre de forma graduada no fio.
- O calor se propaga pelo fio aquecendo a parafina da vela fazendo com que ela derreta e caia.

Figura 5: *Condução térmica em um fio.*



Fonte: trabalho original.

- Perguntas sugeridas: (a) Porque os pedaços de parafina caem depois de algum tempo? (b) Como é definido este fenômeno e como as leis da física explicam o que ocorre? (c) Qual

das parafinas derrete mais rapidamente? A mais próxima ou a mais afastada da chama da vela?

III.2. Experimento 2: Propagação de Calor nos Fluidos

Objetivo

Demonstrar que nos fluidos o calor pode propagar-se deslocando matéria (convecção).

Materiais Necessários

- Duas garrafas pet de 500 ml.
- Corante.
- Cola quente.
- Água natural ou morna.
- Água fria.
- Fita isolante.
- Pregos.

Construção

- Separe as garrafas e retire o rótulo de ambas para melhorar a visualização do seu conteúdo.
- Em um recipiente coloque aproximadamente 500 ml de água morna ou natural.
- Em outro recipiente coloque 500 ml de água fria (veja Fig. 6).
- Separe dois corantes de tonalidades diferentes para que seja possível perceber com facilidade o fenômeno de convecção.
- Perfure a tampa de cada garrafa de forma que tenha a mesma circunferência e fique ajustável quando colocada uma oposta a outra. Este furo pode ser feito com um prego aquecido.

Figura 6: Recipientes com corantes adicionados à água. Água quente amarela à esquerda e água fria vermelho-alaranjada à direita.



Fonte: trabalho original.

Procedimentos

- Encha uma das garrafas com água natural ou morna e a outra com água fria como mostrado na Figura 6.
- Adicione um corante na água fria e um corante de cor diferente na água natural. Veja como fica o resultado na Fig. 6.
- Com a tampa perfurada cole a parte lisa superior de uma das tampas na outra de forma que a parte de rosquear da garrafa fique livre (veja Fig. 7).
- Envolve a parte lateral com fita isolante e deixe secar.
- Em seguida coloque em cima da mesa ou bancada a garrafa com água natural.
- Enrosque a tampa já colada na outra e aperte bem.
- Logo a seguir coloque a garrafa que contem água fria sobre a que possui água natural e aperte bem para que o líquido nela contido não vaze.
- Observe que a água natural que está na parte inferior em poucos minutos começará a subir e em contrapartida a água fria que está na parte superior irá descer tomando o espaço deixado pela água natural.

Figura 7: *Montagem final.*



Fonte: trabalho original.

- Pergunta sugerida: a) Por que a água natural sobe e a água fria desce? b) O que ocorre neste experimento para que isso aconteça? c) Quais os outros lugares em que podemos perceber este mesmo fenômeno?

III.3. Experimento 3: Absorção de Calor

Objetivo

Demonstrar experimentalmente que a radiação só se transforma em calor quando absorvida. Mostrar que materiais escuros absorvem mais radiação que materiais brancos.

Materiais Necessários

- Duas placas de zinco (20 cm x 15 cm).
- Tinta em spray preto fosco e outra branca.
- Mesa.
- Tesoura ou estilete.

Construção

- Com uma tesoura grossa (ou estilete) recorte a chapa de zinco em dois pedaços retangulares fazendo com que fiquem aproximadamente com uma mesma largura e mesmo comprimento.
- Pinte uma chapa de branco e a outra de preto e deixe secar (veja Fig. 8).

Figura 8: *Duas placas de zinco, uma pintada de preto e a outra de branco.*



Fonte: trabalho original.

Procedimentos

- Coloque ambas as placas sobre uma mesa que esteja exposta ao sol.
- Deixe as placas expostas aos raios solares de 5 a 10 minutos.
- Toque com a mão na placa pintada de branco e logo em seguida coloque a mão sobre a placa que foi pintada de preto e observe a diferença de temperatura através do tato. Pode-se usar também um termômetro.
- Neste momento o professor pode questionar e pedir para os alunos explicarem qual foi a sensação percebida ao tocar em ambas as placas de zinco.
- Pergunta sugerida: Por que a placa pintada na cor preta absorve mais calor que a placa pintada na cor branca?

III.4. Experimento 4: Segundo Experimento sobre Absorção de Calor

Objetivo

Demonstrar experimentalmente que a radiação só se transforma em calor quando absorvida. Mostrar que materiais escuros absorvem mais radiação que materiais brancos.

Materiais Necessários

- Duas latas de refrigerante.

- Tinta em spray branca e preta.
- Mesa.
- Termômetro.
- Água.

Construção

- Lixe as latas até que seja retirado todo esmalte que possui a parte externa.
- Lave as latas e deixe secar.
- Pinte as duas latas, uma de branco e a outra de preto e deixe secar (veja Fig. 9).

Figura 9: *Latas lixadas e pintadas.*



Fonte: trabalho original.

Procedimentos

- Encha ambas as latas com água.
- Coloque sobre uma mesa e exponha as duas ao sol por 20 a 30 minutos.
- Após isso coloque o termômetro dentro das latas e meça a temperatura dentro das duas e compare (veja Fig. 10).
- Neste momento faça os alunos relacionarem este experimento com o anterior e faça-os anotar as temperaturas obtidas a partir do mesmo fazendo assim com que eles percebam a diferença da absorção de calor entre um corpo negro e um corpo branco.

Figura 10: Temperatura final das latas após 30 minutos de exposição aos raios solares: (a) lata preta 42°C e (b) lata branca 34°C. Neste experimento a temperatura inicial das latas era igual a temperatura ambiente de 30°C.

(a) Lata preta a 42°C.



(b) Lata branca 34°C.



Fonte: trabalho original.

- Se a radiação recebida em ambas as latas foi praticamente mesma, por que a temperatura dentro da lata pintada de branco é menor que a temperatura na lata pintada de preto?

III.5. Experimento 5: Irradiação

Objetivo

Demonstrar que a luz que recebemos, mesmo que não seja diretamente do sol, também é energia radiante. Mostrar novamente que, mesmo não sendo radiação solar, materiais escuros absorvem mais radiação que materiais brancos.

Materiais Necessários

- Lâmpada incandescente. Foi utilizada uma lâmpada incandescente por ela irradiar calor com mais intensidade e por possuir uma iluminação amarela mais próxima da luz natural.
- Suporte de madeira.
- Fiação.
- Bocal para lâmpada.
- Duas latas de refrigerante.
- Termômetro digital.

- Mesa.
- Tomada.
- Cola quente.

Construção

- Separe a lâmpada.
- Com o suporte de madeira faça as medições para o encaixe do bocal da lâmpada e da fiação para que fique centralizado.
- Reutilize as latas pintadas de branco e preto do experimento anterior.

Procedimentos

- Com o suporte de madeira pronto faça um furo no centro que passe a fiação e encaixe o bocal da lâmpada.
- Construa um pequeno circuito ligando a fiação ao bocal da lâmpada (veja Fig. 11).

Figura 11: Circuito para a lâmpada.



Fonte: trabalho original.

- Fixe o bocal no suporte com cola quente.
- Encaixe a lâmpada.
- Ligue em uma rede elétrica para testar.
- Com a lâmpada desligada posicione as latas a 4 cm de distância da mesma.
- Meça a temperatura do interior das latas e anote o valor.
- Ligue a lâmpada e deixe as latas ao seu lado por 30 minutos (veja Fig. 12).

Figura 12: *Lâmpada ligada irradiando energia para as latas.*



Fonte: trabalho original.

- Meça a temperatura no interior das latas e veja que os dois corpos absorveram a radiação transmitida pela lâmpada.

Figura 13: Temperatura final das latas após 30 minutos: (a) lata branca 32°C e (b) lata preta 38°C . Neste experimento a temperatura inicial das latas era igual a temperatura ambiente de 29°C .

(a) Lata branca a 32°C



(b) Lata preta 38°C .



Fonte: trabalho original.

- Observe que a lata de cor preta absorve mais radiação que a de cor branca. Mesmo não sendo uma radiação solar, comprova-se pela segunda vez que materiais escuros absorvem mais calor que materiais de cores claras.
- Neste momento o professor pode inferir exemplos que ocorrem no cotidiano do aluno, por exemplo, o que ocorre em um forno micro-ondas.

III.6. Experimento 6: Absorção de Calor na Evaporação

Objetivo

Demonstrar que um líquido quando evapora absorve calor.

Materiais Necessários

- Termômetro.
- Algodão.
- Álcool 70%.
- Acetona.
- Seringa (veja Fig. 14).

Figura 14: *Temperatura ambiente 29°C*



Fonte: trabalho original.

Procedimentos

- Anote o valor da temperatura ambiente.
- Envolve a ponta do termômetro com o algodão e pingue gotas de álcool (veja Fig. 15).
- Observe que a temperatura diminui.
- Após 5 min anote o valor da temperatura.
- Remova o algodão com álcool e coloque um novo algodão na ponta do termômetro.
- Molhe este novo algodão com acetona (veja Fig. 16).
- Observe que a temperatura volta a cair, só que com mais rapidez.
- Anote a temperatura que foi obtida após 5 minutos e compare.

Figura 15: *Algodão embebido com Álcool. Temperatura final de 22°C.*



Fonte: trabalho original.

Figura 16: Algodão embebido com acetona. Temperatura final de 12°C.



Fonte: trabalho original.

- Neste momento o professor pode relacionar o fenômeno que acabou de ocorrer como por exemplo a sensação que sentimos, ao passar álcool em gel (ou líquido) na mão, ou quando saímos de uma piscina, etc.

III.7. Experimento 7: Espiral Giratório

Objetivo

Demonstrar a convecção de calor nos gases através de um arranjo simples.

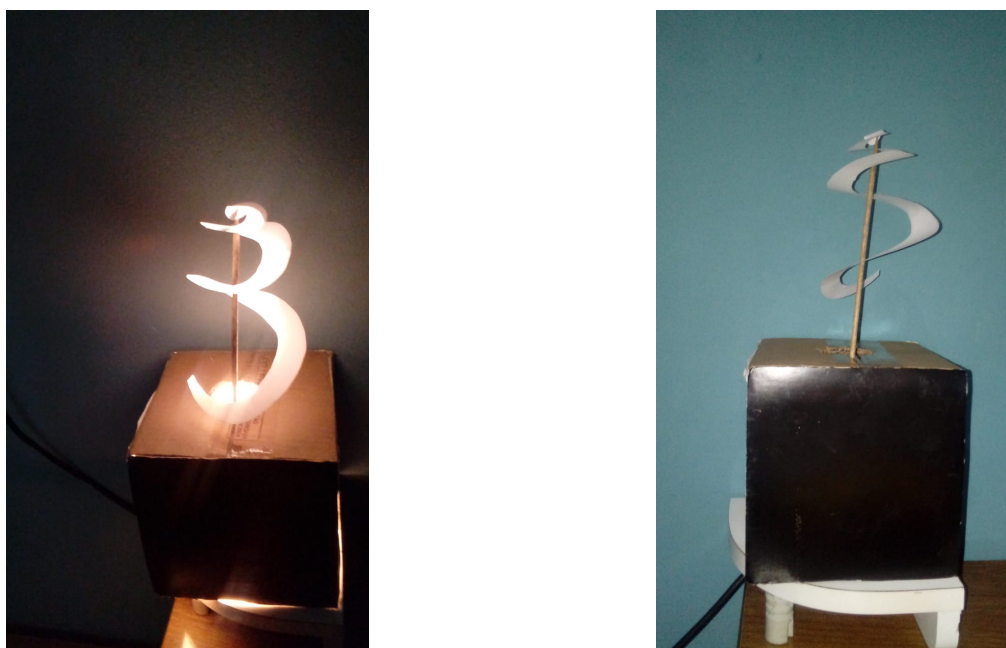
Materiais Necessários

- Papel sulfite.
- Circuito simples. Pode ser utilizado o mesmo circuito simples com lâmpada utilizado no Experimento III.5: Irradiação.
- Espetinho de madeira.
- Caixa quadrada de papelão com 15 cm de largura e 14,5 cm de altura.
- Tesoura.
- Cola.
- Tomada.

Construção

- Com uma tesoura corte o papel sulfite em forma de espira (veja Fig. 17).
- Faça um furo no fundo da caixa de papelão de aproximadamente 4,5 cm de circunferência para dar passagem à luz.
 - Com o próprio palito de espetinho fure o fundo da caixa de tal forma que o palito fique bem próximo do círculo feito anteriormente.
 - Verifique se o círculo feito está centralizado com a lâmpada do circuito.

Figura 17: *Convecção de calor nos gases.*



Fonte: trabalho original.

Procedimentos

- Coloque a caixinha em cima da lâmpada de forma que sua luz radiada seja direcionada para o círculo feito no fundo da caixa.
- Em seguida encaixe o palito no furo já feito pelo mesmo.
- Coloque a espira feita com papel sulfite na ponta do palito.
- Ligue a lâmpada.
- Após algum tempo a espira começa a girar, pois a irradiação da lâmpada passa por esta, e de forma direcionada aquece o ar fazendo com que este circule entre a espira, causando assim o movimento de rotação. Veja a montagem final na Fig. 17.
- Neste momento o professor pode inferir exemplos do cotidiano para exemplificar melhor aos alunos sobre a convecção de calor nos gases.

Comentários finais

Podemos afirmar que o objetivo principal deste trabalho a construção de roteiros explicativos de experimentos de baixo custo e de fácil acesso foi alcançado. Mostramos que é possível a montagem de experimentos na área de termodinâmica com materiais de baixo custo para a demonstração de alguns dos principais conteúdos da disciplina de termodinâmica.

A área da termodinâmica, por ter origens fenomenológicas, é considerada uma das vertentes mais complexas da Física, pois, muitas vezes os alunos não conseguem imaginar como os fenômenos termodinâmicos ocorrem somente com a explicação teórica passada pelo professor em sala de aula. Acreditamos que com a montagem em sala de aula dos

experimentos descritos neste trabalho poderá haver uma maior facilidade na compreensão dos alunos para com a disciplina de termodinâmica.

Finalizando, temos como futura proposta de pesquisa a aplicação dos experimentos descritos neste trabalho diretamente em sala de aula, e através de questionários e avaliações verificar se houve uma melhora no interesse e desempenho dos estudantes com a disciplina de termodinâmica.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, M.; FINN, E. J. *Física*. [S.l.]: Addison-Wesley, 1992. 92, 97
- ARRIBAS, S. D. *Experiências de Física ao Alcance de Todas as Escolas*. Rio de Janeiro: MEC/FAE, 1988. 90
- BERLITZ, A. J.; ÁVILA, A. P. *Experiências de Física para o 1º Grau*. 1. ed. São Leopoldo: Unisinos, 1996. 90
- BUENO, R. S. M.; KOVALICZN, R. A. *O Ensino de Ciências e as Dificuldades das Atividades Experimentais*. Disponível em: <[www.http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/23-4.pdf](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/23-4.pdf)>. Acesso em: 19 out. 2019. 90
- COSTA, L. F. S.; LIMA, K. A.; ANDRADE, M. G. S.; BARCELOS, M. W. S.; VIEIRA, T. S. Principais dificuldades para o ensino de ciências na concepção de professores de escolas estaduais na cidade de araguatins-to. 2012. Disponível em: <<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/view/3155/2372>>. Acesso em: 19 out. 2019. 90
- FOLHAIS, C. *Física Divertida*. 1. ed. Brasília: Universidade de Brasília, 2000. 90
- HALLIDAY, D.; WALKER, J. *Fundamentos de Física*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 2. 92, 97
- MELO, M. G. A.; CAMPOS, J. S.; ALMEIDA, W. S. Dificuldades enfrentadas por professores de ciências para ensinar física no ensino fundamental. R. B. E. C. T., v. 8, n. 4, p. 241, 2015. 90
- NUSSENZVEIG, M. Os três mandamentos. 2018. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/v1/home/images/acontece-na-sbf/2018/agosto/acontecemoyses-2018-08-14.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2019. 90, 91
- SANTOS, B. F.; RIBEIRO, M. *Brasil está entre os piores em ranking mundial de educação*. 2016. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/brasil/brasil-esta-entre-os-8-piores-em-ciencias-em-ranking-de-educacao/>>. Acesso em: 21 nov. 2019. 90
- VALADARES, H. *Física Mais que Divertida*. Belo Horizonte: UFMG, 2000. 90