

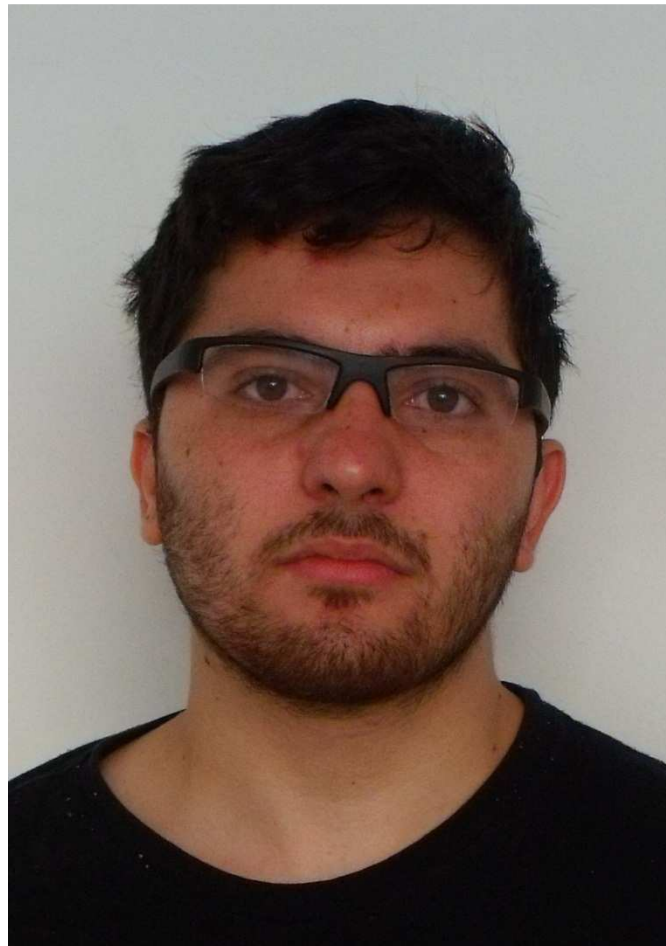
Universidade Estadual de Campinas.

Instituto de Física “Gleb Wataghin”.

F609 – Tópicos de Ensino de Física.

Coordenador: Prof. José Joaquim Lunazzi.

Quatro experiências com o ar aquecido dentro de um recipiente.



Nome: Henrique de Carvalho Calado. henryoak x hotmail.com
RA: 091513.

Orientador: Prof. Ennio Peres. lh2ennio x ifi.unicamp.br

Co – Orientador: Prof. José J. Lunazzi. lunazzi x ifi.unicamp.br

Co – Orientador: Prof. Kamal Ismail. kamal x fem.unicamp.br

0) Agradecimentos.

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais que me ajudaram na compra de materiais e na obtenção de parte deles em casa, além das ideias e da ajuda de meu pai na montagem de alguns modelos dos experimentos.

Também queria agradecer a coordenadora da escola Dom João Nery, Marisol, que permitiu que eu apresentasse os experimentos durante o intervalo, além dos outros estagiários, Amanda, Miguel e Cristina, que me ajudaram bastante na montagem dos experimentos e apresentação deles.

Fui ajudado também pelo funcionário da vidraria do ifgw, que me ajudou no momento que o tubo quebrou e fez um novo corte, mesmo estando em greve dos funcionários.

Também gostaria de agradecer a Daniel e Renato, por terem me emprestado máquinas fotográficas para fazer as fotos e filmagens, e à Amanda, por ter realizado as fotos e filmagens para mim, enquanto eu realizava as experiências.

O Prof. Ennio, também me ajudou bastante sobre as experiências de termodinâmica, com ideias para serem pensadas sobre eles. O Prof. Kamal também me ajudou sobre o quarto experimento, ajudando-me a desenvolver o projeto que foi acabou sendo aplicado.

1) Resultados atingidos.

Foi possível montar em uma versão praticamente final os 3 primeiros experimentos, possibilitando apenas pequenos ajustes para otimizar a apresentação deles, que foi executada na escola estadual Dom João Nery, apresentação esta que será mais aprofundada a seguir. Sobre o 4º experimento, foi possível desenvolver sua execução a partir de materiais de baixo custo, baseado em uma perspectiva qualitativa do fenômeno presente.

Não foi observado um efeito sobre a direção das chamas (pelo menos não na margem de erro utilizada), porém foi possível se ver um efeito na disponibilidade de oxigênio para as chamas no final do movimento, em função do tamanho da abertura do fluxo de ar.

É aparente durante a execução da experiência as chamas das velas se inclinarem menos com tampas menores, porém seria necessário realizar o experimento com a mesma velocidade de rotação para todas as tampas e ela ser constante para poder realmente evidenciar tal fato.

Também seria necessário fazer mais estudos sobre a parte teórica da mecânica de fluidos, a fim de compreender um pouco mais a experiência.

Experiência no colégio estadual Dom João Nery:

Esta escola é localizada no bairro Chapadão, em Campinas, e atende jovens do 9º ano até a 3ª série do Ensino Médio de diversos bairros de Campinas. Este aluno atualmente realiza uma iniciação à docência nesta escola, elaborando um projeto a ser colocado em prática no ano que vêm, sobre interdisciplinaridade em Física, Química e Biologia.

Foi pedida permissão para à direção da escola para realizar os três primeiros experimentos deste trabalho durante o intervalo da manhã, havendo um bom recebimento à ideia. Os conteúdos abordados nestes experimentos são vistos majoritariamente na 2ª série do Ensino Médio, porém imaginou-se que isso não fosse problema para que qualquer aluno se indagasse com o experimento.

As experiências foram montadas no pátio da escola em duas mesas, com a ajuda de outros três estagiários do projeto.

Durante o tempo em que os experimentos foram apresentados, os alunos fizeram todos os tipos de indagações, respostas e reflexões possíveis, sem entender muito bem os fenômenos, o que levava a alguns alunos a sair explicando para os outros, enquanto alguns ficavam mais tempo para ver o mesmo experimento ser realizado, para melhor compreendê-lo.

Alguns tinham pouquíssimo interesse na física, o que explicava aquela situação, aparentando apenas se importar em ver o efeito visual da experiência, tornando estes alunos foco de distração para os outros que queriam entender os experimentos.

Alguns alunos se interessaram bastante nas experiências, e em sala de aula eles participavam muito pouco das aulas de física, contrastando a posição destes alunos sobre o tema.

Um aluno em particular chamou a atenção, pois mais tarde, depois de já ter passado uma aula da apresentação no intervalo, ele procurou os estagiários para tirar dúvidas sobre os experimentos.

2) Fotos e links.



Materiais utilizados na 1ª experiência: Pote, 3 velas, fósforo e base feita da tampa do pote e um pote de plástico.

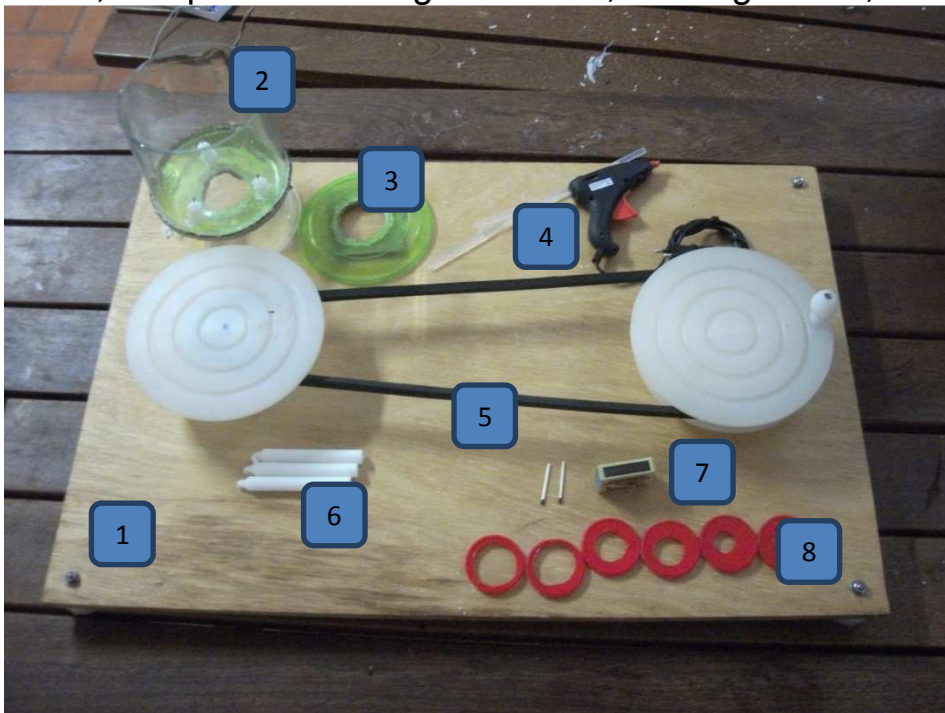


Materiais utilizados na 2ª experiência: Prato, fósforo, vela, copo e água.



Materiais utilizados na 3ª experiência:

1-Luvas; 2-Jarra plástica; 3-Garrafa de vidro; 4-Balde; 5-Jarra de metal; 6-Aquecedor de água elétrico; 7-Bexigas Nº7; 8-Funil.



Materiais utilizados no 4º Experimento:

1-Mesa de rotações; 2-Tubo de vidro com uma base removível (Foto em detalhes mais afrente); 3-Tampa do tubo; 4-Cola quente e refis; 5-Corrêa trapezoidal para mesa de rotações; 6-Três velas; 7-Fósforos; 8-Três pares de tampas com furos dois a dois aproximadamente de mesma área.



Base do tubo na experiência 4, formada por um pote preso à uma tampa, com 3 furos para se encaixar velas, além de um furo central para a tampa de controle de fluxo. Na lateral do encaixe do tubo foi colado papelão para se aumentar o atrito entre as superfícies.

Link para vídeo da experiência 1:

<http://www.youtube.com/watch?v=4EKdbAAZ1OE>

Link para vídeo da experiência 2:

<http://www.youtube.com/watch?v=GSip23jgeWk>

Link para vídeo da experiência 3:

<http://www.youtube.com/watch?v=f1DAsh15Vh8>

Link para vídeo da experiência 4:

http://www.youtube.com/watch?v=l5Ta_zoB378

4) Dificuldades encontradas.

Para serem montadas as experiências mais simples, a princípio a dificuldade foi pequena, apenas levando um tempo de procura no ferro-velho para se conseguir encontrar um pote de vidro de tamanho adequado para cobrir as velas.

Depois, quando se iniciaram as filmagens dos vídeos das experiências mais simples, a com a bexiga dentro da garrafa começou a se mostrar um pouco mais complicada do que antes, do ponto de vista do momento de se realizar a experiência. Quando a bexiga é colocada na ponta da garrafa, ela deve colocada na posição exata, pois se não for encaixada simetricamente à borda da garrafa o ar poderá entrar por ela e criar um pequeno enchimento. Se a bexiga estiver torta por dentro da boca da garrafa ela começara a inflar pela lateral e não pelo fundo, o que também produzirá uma diminuição do efeito visual que acontece. Também, se a bexiga é colocada já pelo lado de dentro da bexiga, o efeito visual será maior, já que o volume inicial já é menor, porém a chance do gargalo da bexiga arrebentar é bem alta.

Sobre a mesa de rotações as dificuldades iniciais foram aparecendo gradualmente com o avanço do trabalho na construção do experimento. O verniz para impermeabilizar a madeira da base foi comprado e passado. No dia seguinte a madeira cedeu à força do verniz e se entortou. Para realinha-la foi necessário colocar uma ruela e uma porca em um dos pés da mesa, para que ela se reequilibrasse. Enquanto eram feitos alguns testes com a resistência do rolamento da mesa, a correia entre as rodas estourou, possivelmente pela precariedade da junção feita nas pontas, o que necessitou a compra de uma correia trapezoidal de motor. O projeto inicial contava com um tubo encostado no fundo da roda da mesa, porém a conversa inicial com o professor Kamal mostrou que o haveria de ter-se uma entrada de ar igual à saída, porém em lados opostos do tubo, o que alterou o projeto inicial, requisitando mais peças (tubos e tampas). Na ideia inicial para mudar o projeto, foi decidido usar apenas um tubo de vidro, e fazer diferentes tampas com os furos de aberturas diferentes. Para isso, foi necessário ir a diversas lojas a procura de potes que tivessem a tampa igual à abertura máxima do tubo.

Apesar de 15 potes comprados em diferentes lojas, apenas três das tampas serviram no tubo, e este modelo havia acabado nas lojas.

Usando-se tampas de potes de fermento em pó, o modelo do experimento foi refeito, fazendo-se um furo padrão nas

tampas de baixo e de cima, e depois mudando a tampa de fermento com furos diferentes. Essa montagem possibilitou um trabalho com diferentes furos. Porém, no dia seguinte, uma semana antes da apresentação do trabalho, um acidente quebrou toda a vidraria que estava sendo usada nos experimentos.

No dia seguinte conseguiu-se outro tubo de vidro, pote com tampa e garrafa, além de se refazer as peças que são usadas junto a eles. Assim, as experiências foram refeitas, tirando-se fotos e fazendo-se os vídeos.

Outra dificuldade foi a complexidade de se construir algum modelo para se analisar o fenômeno físico que está acontecendo no quarto experimento.

4) Pesquisa realizada e palavras-chave.

Ao se procurar por “Queima parafina processo químico”:

<http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Ar/>, página que explica superficialmente como é o processo de combustão que ocorre na parafina da vela além de algumas informações sobre o ar atmosférico.

Acessado em 8 de setembro de 2011.

Ao se procurar por “Reação química queima da parafina”:

http://www.labin.unilasalle.edu.br/infoedu/siteinfoedu1_03/turmasv_site/turma2_02/site_angelita/reacoes.htm, página onde foram encontradas reações incompletas presentes na combustão da parafina, além do alcano mais comumente usado na produção de velas (C₁₈H₃₈).

No livro “Princípios de Química”, 3ª Edição, de Peter Atkins e Loretta Jones, foram encontradas as energias de ligação dos pares C-H, C-C, C=O, usadas para o cálculo das energias nas reações de combustão da parafina.

Acessado em 8 de setembro de 2011.

Ao se procurar por “Energia de ligação oxigênio”:

<http://www.e-escola.pt/topico.asp?id=551&ordem=9>, site com uma fonte sobre a energia de ligação na molécula de oxigênio.

Acessado em 8 de setembro de 2011.

Ao se procurar por “Estrutura molecular fuligem”:

http://www.usp.br/qambiental/combustao_energia.html, site com uma fonte sobre a energia de ligação do carbono na estrutura de carvão.

Acessado em 8 de setembro de 2011.

Ao se procurar por “Mecânica dos fluídos”:

http://pt.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A2nica_dos_fluidos, pode ser entendido um pouco mais da complexidade do tema discorrido, além de se conhecer a equação de Navier-Stokes, que consegue em alguns casos de propriedades isoladas, ser resolvida.

Acessado em 9 de outubro de 2011.

Ao se procurar “volumetric expansion coefficient carbon dioxid” :

http://www.peacesoftware.de/einigewerte/calc_co2.php5, site onde foi encontrado a compressibilidade volumétrica do gás carbônico a 1 atm e 25°C.

Acessado em 9 de outubro de 2011.

Ao se procurar “volumetric expansion coefficient oxygen gas”

<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Thermal+Expansion> , site onde foi encontrado a compressibilidade volumétrica a pressão constante e em uma faixa entre 0°C e 100°C.

Acessado em 9 de outubro de 2011.

Ao se procurar “número de reynolds”

<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/t0625-2.pdf>, trabalho que fala um pouco sobre viscosidade e sobre o número de Reynolds, fator experimental que indica a turbulência de um fluxo.

Acessado em 4 de novembro de 2011.

5) Descrição do trabalho.

- Nível básico:

O presente trabalho trata do estudo de propriedades de gases a partir do aquecimento do ar atmosférico.

No primeiro experimento, três velas de diferentes alturas são colocadas dentro de um pote de vidro e é observada a diferença de ordem na qual elas se apagam.

A diferença de ordem acontece pela diferença de temperatura do gás carbônico produzido na queima de temperatura e do ar atmosférico dentro do pote. O ar mais quente (gás carbônico) é menos denso e sobe o que diminui a concentração de gás oxigênio que mantém a vela acesa.

No segundo experimento uma vela acesa é colocada em um prato com água e depois é tampada. Depois de um tempo a água se apaga e a água do prato sobe dentro do copo.

A chama da vela consome oxigênio e produz gás carbônico quente. Depois de um tempo tampada ela não possui mais oxigênio suficiente para ficar acesa e se apaga. A partir desse momento o gás carbônico quente começa a esfriar e se contrair, fazendo a água subir no copo.

O terceiro experimento é feito com uma garrafa de vidro que é aquecida com água quente, depois uma bexiga é colocada em sua boca. Depois, água gelada é passada em volta da garrafa e a bexiga se enche para dentro da garrafa.

Quando a garrafa quente com a bexiga é resfriada, o ar em seu interior se contrai, o que puxa a bexiga para dentro da garrafa.

O quarto experimento é feito com uma mesa de rotações e um tubo com três velas acesas no interior. Quando as velas começam a girar as chamas começam a apontar a direção do fluxo de ar dentro do tubo. Com diferentes tampas na ponta e no fundo do tubo o fluxo de ar dentro do tubo tem seu movimento mudado.

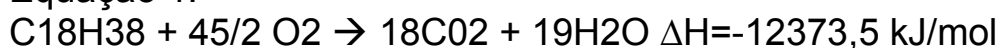
- Nível segundo grau:

O presente trabalho trata do estudo de propriedades de gases a partir do aquecimento do ar atmosférico.

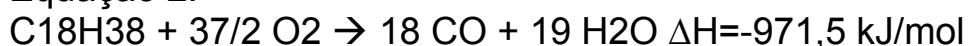
No primeiro experimento, três velas de diferentes alturas são colocadas dentro de um pote de vidro e é observada a diferença de ordem na qual elas se apagam.

A diferença de ordem acontece pela diferença de temperatura do gás carbônico produzido na reação 1, uma das 3 que acontece na queima da vela:

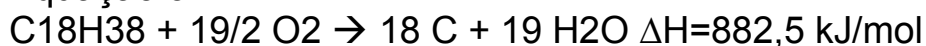
Equação 1:



Equação 2:



Equação 3:



O fato observado de que a menor vela ser a última a se apagar e, portanto, na parte inferior do recipiente ter disponibilidade de ar oxigênio por mais tempo mostra que para pessoas presas em um espaço limitado como elevadores, minas ou submarinos nos quais esteja havendo produção de fumaça ou em incêndios, se abaixar pode aumentar o tempo antes dela se sufocar com a falta de oxigênio.

No segundo experimento uma vela acesa é colocada em um prato com água e depois é tampada. Depois de um tempo a água se apaga e a água do prato sobe dentro do copo.

A chama da vela consome oxigênio e produz gás carbônico quente. Depois de um tempo tampada a concentração de oxigênio no ar não é mais suficiente para que a chama se mantenha acesa e por isso ela se apaga. A partir desse momento o gás carbônico quente começa a esfriar, fazendo com que sua densidade aumente, diminuindo o seu volume. Essa variação de volume gera uma diferença de pressão, que aplicada na água do copo, faz o nível de água subir no copo para se igualar a pressão inicial.

$$P_{\text{gas}} + P_{\text{agua}} = P_{\text{atm.}}$$

$$P_{\text{agua}} = \rho \cdot g \cdot h.$$

$P = n \cdot R \cdot T / V$ (Ao aproximar o gás no interior do vidro para um gás ideal).

n = número de mols.

ρ = densidade.

Além do efeito da variação de volume do gás, também há a condensação do vapor de água que foi produzido na combustão da vela, que também irá produzir uma variação de pressão no sentido de elevar o nível da água.

O terceiro experimento é feito com uma garrafa de vidro que é aquecida com água quente, e tem em sua boca colocada uma bexiga. Depois, água gelada é passada em volta da garrafa e a bexiga se enche para dentro da garrafa.

Quando a garrafa quente com a bexiga é resfriada, o ar em seu interior também se esfria, e para manter a pressão constante, ele aumenta de densidade, diminuindo de volume. Para isso acontecer, a bexiga precisa se encher para dentro da garrafa.

Quando a garrafa é aquecida, o ar no seu interior se expande e parte dele sai da garrafa já que ela está destampada, reduzindo a densidade do gás dentro da garrafa. Quando ele é resfriado a pressão diminui e o ar retorna à garrafa, porém a bexiga está presa na boca, e, portanto ela precisa se encher para que o gás de fora da garrafa tome a posição do que saiu e a pressão retorne a inicial.

$P_i \cdot V_i \cdot T_f = P_f \cdot V_f \cdot T_i$ (Ao aproximar o gás no interior da garrafa para um gás ideal).

$$P_i = P_f = P_{\text{atm}}$$

$$V_i \cdot T_f = V_f \cdot T_i.$$

V_i = Volume da garrafa.

V_f = Volume da garrafa menos o volume da bexiga.

$$V_g = T_f / T_i \cdot (V_g - V_b)$$

$$V_b = V_g \cdot (1 - T_f / T_i)$$

O quarto experimento é feito com uma mesa de rotações e um tubo com três velas acesas no interior. Quando as velas começam a girar as chamas começam a apontar a direção do fluxo de ar dentro do tubo. O fluxo de ar dentro do tubo é regido pela diferença de temperatura dentro do tubo que cria uma corrente de convecção, além da força de rotação que empurra os gases dentro do tubo, mas que saem na maioria pelo furo superior, e entram pelo furo inferior, devido à densidade dos gases confinados. Com a variação da área de furo, a velocidade do fluxo de ar vai mudar e poderá evidenciar algum efeito sobre as chamas das velas.

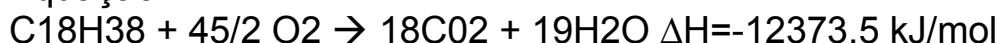
- Nível graduação:

O presente trabalho trata do estudo de propriedades de gases a partir do aquecimento do ar atmosférico.

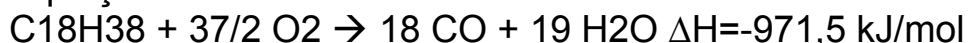
No primeiro experimento, três velas de diferentes alturas são colocadas dentro de um pote de vidro e é observada a diferença de ordem na qual elas se apagam.

A diferença de ordem acontece pela diferença de temperatura do gás carbônico produzido na reação 1, uma das 3 que acontece na queima da vela:

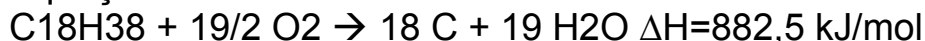
Equação 1:



Equação 2:



Equação 3:



Parte da energia da primeira equação é transformada em luz emitida, parte aquece o ar no interior do vidro, além de outras perdas. A energia que o ar recebe o faz aquecer-se através do coeficiente de dilatação.

$$\beta = 1/V \cdot (\Delta V / \Delta T)$$

$$\beta \cdot (T_f - T_i) = \ln(V_f / V_i)$$

$$V_f = V_i \cdot \exp [\beta \cdot (T_f - T_i)]$$

Para realizar uma análise, agora será feito uma aproximação, considerando, um volume inicial de gás puro com volume inicial V_i e temperatura inicial T_i , que absorve energia e se aquece e se dilata, uniformemente. Tomando as propriedades como constantes para o meio na aproximação.

$$\rho = m/V$$

ρ = densidade.

$$\Delta \rho = m.(1/V_i - 1/V_f)$$

$$\Delta \rho = m. ([\exp [\beta.(T_f - T_i)] - 1] / (V_i. \exp [\beta.(T_f - T_i)]))$$

E = Empuxo sobre o volume realizado pelo meio.

$$E = \Delta \rho. V_f. g$$

$$E = m. g. ([\exp [\beta.(T_f - T_i)] - 1])$$

$$m = MM. n$$

MM = massa molar.

n = número de mols.

$$n = P. V / (R. T)$$

$$E = MM. P_f. V_f. g. ([\exp [\beta.(T_f - T_i)] - 1]) / (R. T_f)$$

$$P_f = P_{atm}. (T_f. V_i / T_i. V_f)$$

$$E = MM. P_{atm}. V_i. g. ([\exp [\beta.(T_f - T_i)] - 1]) / (R. T_i)$$

A partir da equação, tomando dois volumes iguais de gás, com a mesma temperatura inicial (momento anterior ao acendimento da vela), um contendo oxigênio e o outro contendo gás carbônico. E analisarmos a situação na qual ambos têm a mesma variação de temperatura com a energia da chama.

$$E_{CO_2} - E_{O_2} = [P_{atm}. V_i. g / (R. T_i)]. (MM_{CO_2}. [\exp [\beta_{CO_2}. (T_f - T_i)] - 1] - MM_{O_2}. [\exp [\beta_{O_2}. (T_f - T_i)] - 1])$$

A diferença na força exercida pelo meio no gás carbônico e no oxigênio causa a corrente de convecção que mantém o gás carbônico aquecido acima, diminuindo a concentração do oxigênio e apagando a vela maior primeiro.

O fato observado de que a menor vela ser a última a se apagar e, portanto, na parte inferior do recipiente ter disponibilidade de ar oxigênio por mais tempo mostra que para pessoas presas em um espaço limitado como elevadores, minas ou submarinos nos quais esteja havendo produção de fumaça ou em incêndios, se

abaixar pode aumentar o tempo antes dela se sufocar com a falta de oxigênio.

No segundo experimento uma vela acesa é colocada em um prato com água e depois é tampada. Depois de um tempo a água se apaga e a água do prato sobe dentro do copo.

A chama da vela consome oxigênio e produz gás carbônico quente. Depois de um tempo tampada a concentração de oxigênio no ar não é mais suficiente para que a chama se mantenha acesa e por isso ela se apaga. A partir desse momento o gás carbônico quente começa a esfriar, fazendo com que sua densidade aumente, diminuindo o seu volume. Essa variação de volume gera uma diferença de pressão, que aplicada na água do copo, faz o nível de água subir no copo para se igualar a pressão inicial.

$$P_{\text{gas}} + P_{\text{agua}} = P_{\text{atm.}}$$

$$P_{\text{agua}} = \rho \cdot g \cdot h.$$

$P = n \cdot R \cdot T / V$ (Ao aproximar o gás no interior do vidro para um gás ideal).

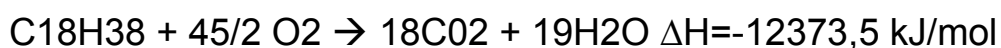
n = número de mols.

ρ = densidade.

Fazendo a aproximação que o gás inicial possui apenas nitrogênio, oxigênio e gás carbônico.

$$T_i \cdot R \cdot (n_{N_2} / v_{N_2} + n_{O_2} / v_{O_2} + n_{CO_2} / v_{CO_2}) = P_{\text{atm.}}$$

Depois o gás irá se aquecer e resfriar, voltando para a temperatura ambiente, inicial, elevando o nível de água no copo, diminuindo o volume dos gases no recipiente. O número de mols de gás carbônico e oxigênio também variam, devido a reação de queima da parafina que ocorre majoritariamente em combustão total.



A reação mostra que 45 mols de O_2 produzem 38 mols de gás carbônico.

$$T_i \cdot R \cdot (n_{N_2} / v_{N_2} + n_{O_2} / v_{O_2} + n_{CO_2} / v_{CO_2} + \rho \cdot g \cdot h) = P_{\text{atm.}}$$

Se for considerado que o volume do nitrogênio no copo não varie, as equações iniciais e finais combinadas serão:

$$p.g.h/(T_i.R) = n_{O_2}/v_{O_2} + n_{CO_2}/v_{CO_2} - n_{O_2}/v_{O_2} - n_{CO_2}/v_{CO_2}$$

f = número de mols de parafina consumidos

$$p.g.h/(T_i.R) = n_{O_2}/v_{O_2} + n_{CO_2}/v_{CO_2} - (n_{O_2} - 45.f)/v_{O_2} - (n_{CO_2} + 36.f)/v_{CO_2}$$

Além do efeito da variação de volume do gás, também há a condensação do vapor de água que foi produzido na combustão da vela, que também irá produzir uma variação de pressão no sentido de elevar o nível da água.

O terceiro experimento é feito com uma garrafa de vidro que é aquecida com água quente, e tem em sua boca colocada uma bexiga. Depois, água gelada é passada em volta da garrafa e a bexiga se enche para dentro da garrafa.

Quando a garrafa é aquecida, o ar no seu interior se expande e parte dele sai da garrafa já que ela está destampada, reduzindo a densidade do gás dentro da garrafa. Quando ele é resfriado a pressão diminui e o ar retorna à garrafa, porém a bexiga está presa na boca, e, portanto ela precisa se encher para que o gás de fora da garrafa tome a posição do que saiu e a pressão retorne a inicial.

$P_i.V_i.T_f = P_f.V_f.T_i$ (Ao aproximar o gás no interior da garrafa para um gás ideal).

$$P_i = P_f = P_{atm}$$

$$V_i.T_f = V_f.T_i$$

V_i = Volume da garrafa.

V_f = Volume da garrafa menos o volume da bexiga.

$$V_g = T_f/T_i.(V_g - V_b)$$

$$V_b = V_g.(1 - T_f/T_i)$$

O quarto experimento é feito com uma mesa de rotações e um tubo com três velas acesas no interior. Quando as velas começam a girar, as chamas começam a apontar a direção do fluxo de ar dentro do tubo. O fluxo de ar dentro do tubo é regido pela diferença de temperatura dentro do tubo que cria uma corrente de convecção, além da força de rotação que empurra os gases dentro do tubo,

mas que saem na maioria pelo furo superior, e entram pelo furo inferior, devido à densidade dos gases confinados. Com a variação da área de furo, a velocidade do fluxo de ar vai mudar e poderá evidenciar algum efeito sobre as chamas das velas.

As áreas dos furos nas tampas superiores e inferiores serão iguais, então devido a equação de continuidade:

$$V_a \cdot A_a = V_b \cdot A_b$$

$$dV_a/dt \cdot A_a + V_a \cdot dA_a/dt = dV_b/dt \cdot A_b + V_b \cdot dA_b/dt$$

$$dA_a/dt = dA_b/dt = 0$$

$$A_a = A_b \Rightarrow dV_a/dt = dV_b/dt, V_a = V_b$$

Por tanto as velocidades e acelerações nas saídas serão iguais, porém é inevitável que haja variação da velocidade no interior do tubo, devido à variação da área transversal.

A turbulência no meio é causada por diversos fatores, além do número de Reynolds, sendo eles a própria presença da vela, que causa uma perda de simetria do meio, também gerando uma frente de contato no movimento circular, gerando um fluxo horizontal não laminar. O fato do fluxo de ar também ser formado por um conjunto de gases em transformação (devido a reação de combustão) causa perturbação no sistema que também está sofrendo o aumento de energia térmica, que se distribuem a principio em uma simetria esférica, porém que esta em um movimento de rotação confinado em um cilindro, destituindo a uniformidade que pudesse gerar um movimento laminar, aumentando a turbulência e impossibilidade de se desenvolver um modelo para a dinâmica do fluido, limitando a análise das observações a um quadro de tendência em relação as mudanças nas variáveis (como altura das velas, velocidade da rotação, tamanho do furo das tampas).

6) Declaração do orientador:

O aluno tem se esforçado bastante para construir e fazer funcionar os diversos arranjos que envolvem seu experimento. Tem encontrado as dificuldades típicas dos trabalhos experimentais, com as quais poderá se familiarizar e terá a oportunidade de aprender sobre sua capacidade em prever e superar estas dificuldades. A apresentação dos experimentos em uma escola de Ensino Médio foi muito interessante, onde se pode verificar o impacto (interesse) dos

alunos em relação aos experimentos. Algumas dificuldades ainda restam para serem superadas, principalmente em relação ao quarto experimento. Até o momento o desempenho do aluno é adequado.

Apêndices:

Conteúdo de <http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Ar/>.

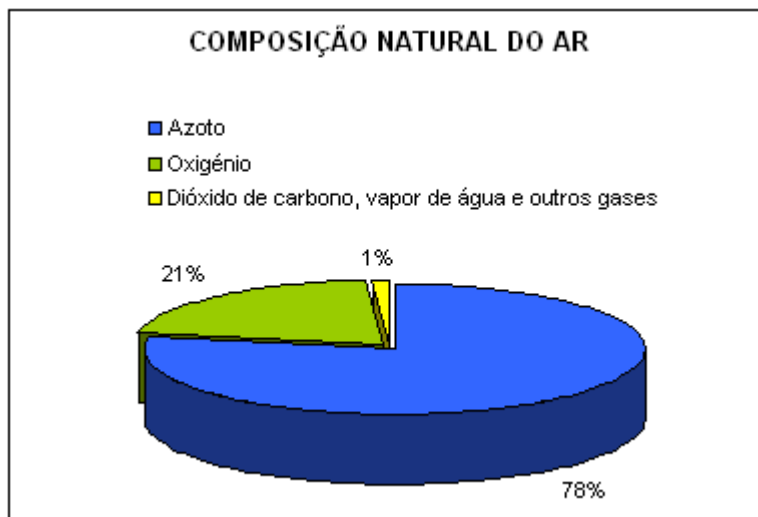
O Ar

Muitas são as situações do nosso dia-a-dia em que percebemos a presença de ar. Quando sentimos a brisa suave no nosso rosto, quando o vento sopra forte balançando os galhos das árvores, quando respiramos e sentimos o ar entrando e saindo dos nossos pulmões, estamos percebendo a presença do ar.

Não podemos ver o ar nem tocá-lo. Ele é **invisível**, **incolor** (não tem cor) e **inodoro** (não tem cheiro). **Mas existe, tem peso e ocupa espaço.**

De que é feito o ar?

A matéria pode se apresentar na natureza no estado sólido, líquido e gasoso. O ar se apresenta no estado gasoso, é uma mistura de gases. O gás de maior quantidade é o gás **nitrogênio ou azoto**, que forma cerca de **78%** do ar. Isso quer dizer que, em 100 litros de ar, há 78 litros de nitrogênio. Depois vem o **oxigênio** com cerca de **21%**. O 1% restante inclui **argônio, o gás carbônico e outros gases**. Esta é a proporção de gases no ar seco. Mas normalmente, há também **vapor de água** (em quantidade variável) e poeira. Certos gases vindos das indústrias ou de outras fontes podem também estar presentes.

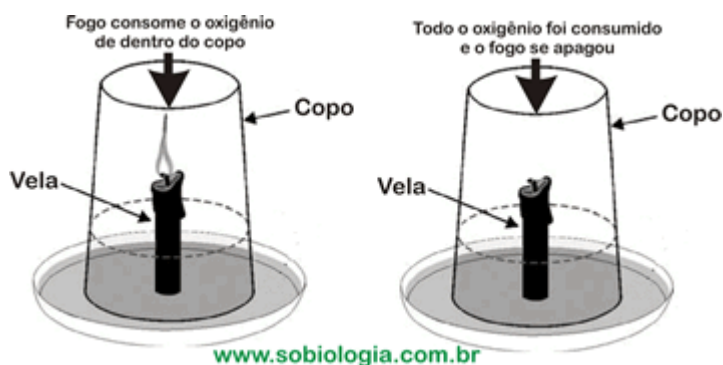


Gás Oxigênio e a Combustão

O gás oxigênio é um gás de importância fundamental para os processos vitais do nosso planeta, utilizado na **respiração** da maioria dos seres vivos. As algas e as plantas também absorvem oxigênio na respiração, mas, pela fotossíntese, liberam esse gás, possibilitando a sua renovação contínua no ambiente.

A maior parte do oxigênio inspirado é utilizado pelos seres vivos na produção de energia que mantém seus sistemas vitais.

Agora veja a figura.



Se emborcamos um copo sobre uma vela acesa, a chama se apaga. A vela se apaga porque o oxigênio dentro do copo foi gasto durante a queima da vela. O oxigênio é, portanto necessário para a queima da vela. Aliás, ele é necessário para a queima de outros materiais também. O processo de queima é chamado **combustão**.

Em 1783, o químico francês Antoine Lavoisies

(1743-1794) explicou esses fenômenos: **na combustão ocorre a combinação do oxigênio com outras substâncias, liberando grande quantidade de calor em curto espaço de tempo.**

Quando o motor do carro funciona, por exemplo, a gasolina combina-se com o oxigênio do ar. A gasolina ou a outra substância que está sendo queimada é chamada de **combustível**, e o oxigênio é chamado de **comburente**. Comburente é, portanto, a substância que provoca a combustão.

No caso da vela acesa, o comburente é o oxigênio do ar. O combustível é a parafina da vela. Mas, para começar a combustão, é preciso aquecer o combustível. No caso da vela, acendemos o pavio com um fósforo. O calor da chama do pavio aquece a parafina que se combina com o oxigênio e é queimado.

A combustão libera energia química que está armazenada no combustível. Essa energia aparece sob a forma de calor e luz.

Com a energia da combustão o ser humano movimenta veículos a gasolina, a gás, a óleo diesel ou a álcool, e cozinha alimentos no fogão. Essa energia pode ser liberada também em usinas [termelétricas](#), que transformam energia de combustíveis, como o carvão e o petróleo em energia elétrica.

Depois que a vela se queima, sobra um pouco de parafina. Mas a quantidade que sobra é bem menor. Para aonde foi então a parafina que falta?

A combustão transforma o combustível, que no caso é a parafina, em vapor de água e gás carbônico. Ocorre aqui o que se chama de transformação química ou [reação química](#). As substâncias presentes na parafina transformam-se em outras substâncias: **o gás carbônico e a água.**

Conteúdo de

http://www.labin.unilasalle.edu.br/infoedu/siteinfoedu1_03/turmasv_site/turma2_02/site_angelita/reacoes.htm

REAÇÕES DE COMBUSTÃO

1. Parafina X gás de cozinha

Reações de combustão são transformações que, usualmente, se processam em cadeia com transferência de energia suficiente entre as partículas para manter o curso da reação. Dentre os reagentes envolvidos o mais importante e freqüente é o gás oxigênio, chamado de comburente, que ao reagir com inúmeros combustíveis (derivados de petróleo, carvão, madeira, etc.) constituem um grupo de reações de combustão fundamentais para a nossa subsistência.



Você sabe por que a chama da combustão de uma vela é amarela



e por que a chama do fogão à gás é azul ?

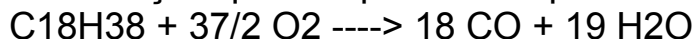
Durante a combustão da vela ocorre uma reação de combustão entre a parafina e o oxigênio do ar.

A quantidade de oxigênio no ar é aproximadamente 20% e por isso a combustão é incompleta. Nesse caso, devido à falta de oxigênio, parte do carbono não é transformada em CO₂ e se forma por isso carbono(grafite). Essas partículas ficam incandescentes e provocam a cor amarelada da chama. Os produtos da combustão incompleta são C, CO, CO₂ e H₂O.

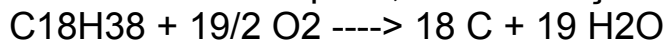
Para simplificar o estudo da queima incompleta, costuma-se dividi-la em:

Combustão incompleta, com formação de monóxido de carbono.

Esta reação química pode ser representada pela seguinte equação:



Combustão incompleta, com formação de carbono:



Conteúdo de <http://www.e-escola.pt/topico.asp?id=551&ordem=9>.

Embora a energia da ligação O-O na molécula de O₂ seja relativamente alta (493.4 kJ/mol) as reacções de oxidação de outros elementos são frequentemente exotérmicas e, uma vez fornecida a energia de activação necessária, podem continuar, espontaneamente, dando origem a combustão prolongada ou

mesmo explosões. Se não fosse esta reactividade do oxigénio não seria possível fazer funcionar os motores dos automóveis ou aquecer água com um esquentador a gás, onde a exotermicidade das reacções de oxidação de hidrocarbonetos é utilizada para produzir energia mecânica ou térmica.

Conteúdo de http://www.usp.br/qambiental/combustao_energia.html

É muito importante saber a quantidade de calor liberada pelos combustíveis para que seja possível comparar o valor energético de cada um deles. Na Tabela 1 são mostradas as entalpias de combustão (ΔH°) para alguns combustíveis, isto é, a energia liberada na queima completa de um mol do combustível. O zero utilizado como índice superior indica que as condições iniciais dos reagentes e as finais dos produtos são 25° C e 1 atm, chamadas de condições padrão.

Tabela 1: Entalpia de combustão padrão para vários combustíveis.

COMBUSTÍVEL	FÓRMULA MOLECULAR	ΔH° (kJ/mol)
Carbono (carvão)	C _(s)	- 393,5
Metano (gás natural)	CH _{4 (g)}	- 802
Propano (componente do gás de cozinha)	C ₃ H _{8 (g)}	- 2.220
Butano (componente do gás de cozinha)	C ₄ H _{10 (g)}	- 2.878
Octano (componente da gasolina)	C ₈ H _{18 (l)}	- 5.471
Etino (acetileno, usado em maçarico)	C ₂ H _{2 (g)}	- 1.300
Etanol (álcool)	C ₂ H ₅ OH (l)	- 1.368
Hidrogênio	H _{2 (g)}	- 286

Conteúdo de

http://pt.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A2nica_dos_fluidos.

Teoria

Os fluidos respeitam a conservação de [massa](#), [quantidade de movimento](#) ou [momentum linear](#) e [momentum angular](#), de [energia](#), e de [entropia](#). A conservação de quantidade de movimento é expressa pelas [equações de Navier Stokes](#). Estas equações são deduzidas a

partir de um balanço de forças/quantidade de movimento a um volume infinitesimal de fluido, também denominado de elemento representativo de volume.

Atualmente, o estudo, análise e compreensão da [fenomenologia](#) da maior parte dos problemas em dinâmica de fluidos e em transferência de calor, como macro-áreas que compõem a dinâmica de fluidos, são desenvolvidos através da [Modelagem Computacional](#). Nesta, um [modelo matemático](#) é desenvolvido, com base na fenomenologia do problema considerado. A partir deste modelo, geralmente um sistema de [equações diferenciais parciais](#) ou [equações diferenciais ordinárias](#), é desenvolvido um [modelo computacional](#) ou utilizado um [código computacional](#) comercial, para a execução de [simulações numéricas](#), em [fluidodinâmica computacional](#), obtendo-se assim projeções temporais da [solução do problema](#). Esta solução é condicionado pelas [condições iniciais](#) e [condições de contorno](#) do problema, que estabelecem as condições de evolução deste no tempo e no espaço.

A [Teoria do Contínuo](#) fundamenta a conceituação teórica que justifica a maior parte das análises em CFD. O [fluido](#), um meio contínuo, é discretizado com base no [modelo das partículas fluidas](#). Esta abstração conceitua um [elemento representativo de volume](#) (*representative element of volume*, REV). Neste elemento de volume, de [micro](#) ou [nano](#) dimensões, uma [propriedade](#) ou [quantidade física](#) mantem um valor médio, sob as mesmas condições, passível de reprodução em laboratório, sob as mesmas solicitações externas ao fluido. Assim uma partícula representativa de um volume de fluido, o REV, é o menor volume em que as propriedades do fluido se mantêm. As moléculas de um contínuo vibram constantemente, cessando esta vibração somente no estado de repouso termodinâmico, o [zero absoluto](#). Fisicamente em um REV o caminho médio percorrido pelas [moléculas](#) do fluido entre duas sucessivas é no mínimo da ordem de grandeza das próprias moléculas deste fluido.

Tipos de escoamentos

Os escoamentos podem ser classificados quanto à [compressibilidade](#) e quanto ao grau de mistura macroscópica.

Um escoamento em que a [densidade](#) do fluido varia significativamente é um [escoamento compressível](#). Se a densidade não variar significativamente então o escoamento é [incompressível](#).

O grau de mistura de um fluido em escoamento depende do [regime de escoamento](#), que pode ser [laminar](#), [turbulento](#) ou de transição.

No regime laminar, as linhas de fluxo são paralelas ao escoamento, fazendo com que o fluido escoe sem que ocorra mistura. Em um duto circular, o escoamento é laminar até um valor de Reynolds de aproximadamente 2100.

Na transição entre os regimes laminar e turbulento, percebe-se que as linhas de fluxo se tornam onduladas, o que indica que começa a haver mistura entre uma camada e outra. Para um duto circular, esse regime ocorre para um valor de Re entre 2100 e 2300.

Para valores de Re acima de 2300, têm-se regime turbulento. Nesta fase, percebe-se uma mistura entre as camadas de fluxo.

Conteúdo de

http://www.peacesoftware.de/einigewerte/calc_co2.php5.

Property	Value	Unit
Medium :	carbon dioxide	
state of aggregation :	gas	
Pressure :	1	[bar]
Temperature :	25	[Celsius]
Density :	1.7845	[kg / m ³]
Specific Enthalpy :	505.85	[kJ / kg]
Specific Entropy :	2.7395	[kJ / kg K]
Specific isobar heat capacity : cp	0.8507	[kJ / kg K]
Specific isochor heat capacity : cv	0.6574	[kJ / kg K]
Isobar coefficient of thermal expansion :	3.411	[10 ⁻³ (1 / K)]
Heat conductance	16.625	[10 ⁻³ (W / m * K)]
Dynamic viscosity :	14.93	[10 ⁻⁶ (Pa s)]
Kinematic viscosity :	8.3664892126646	[10 ⁻⁶ m ² / s]
Thermal diffusivity :	109.6	[10 ⁻⁷ m ² / s]
Prandtl-Number :	0.7641	
Coefficient of compressibility Z :	0.99505	
speed of sound :	268.65	[m / s]

Conteúdo de

<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Thermal+Expansion>:

Table 1. Isobaric coefficients of volume expansion of some gases and liquids at atmospheric pressure

Substance Temperature (°C) α [10⁻³(°C)⁻¹]

Gases

Helium	0–100	3.658
Hydrogen	0–100	3.661
Oxygen	0–100	3.665
Nitrogen	0–100	3.674
Air (without CO2)	0–100	3.671

Conteúdo de

<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/t0625-2.pdf>:

A viscosidade é uma quantidade que descreve a resistência de um fluido ao escoamento. Os fluidos resistem tanto aos objetos que se movem neles, como também ao movimento de diferentes camadas do próprio fluido.

A força de viscosidade é dada pela fórmula de Newton:

$$F = hA \, dv/dx$$

h é o coeficiente de viscosidade dinâmica, A a área da placa que se move no fluido, x é a direção perpendicular a v e perpendicular a A .

No sistema internacional a unidade de viscosidade η é pascal segundo [Pa.s]. Apesar disso, esta unidade é pouco utilizada. A unidade de viscosidade mais usada é o poise [P], em homenagem ao fisiologista francês Jean Louis Poiseuille (1799 – 1869). Dez poise são iguais a um pascal segundo [Pa.s], fazendo um centipoise [cP] e um milipascal segundo [mPa.s] idênticos.

A passagem de um escoamento laminar para turbulento era um problema bastante sério. Há um critério para saber se um escoamento é laminar ou turbulento. Trata-se do famoso número de Reynolds. Em 1883, Osborne Reynolds (1842-912) concluía que, se para determinada velocidade de escoamento e determinada forma geométrica de um corpo que se move num fluido viscoso, a relação entre forças de inércia e força de viscosidade é pequena, o escoamento deve ser laminar, mas se for grande, ele passa a ser turbulento. Trata-se do famoso número de Reynolds:

$$R = \rho u l / \eta \text{ ou } R = u l / \nu,$$

onde ρ é a densidade do fluido, u a velocidade relativa entre o corpo e o fluido, uma dimensão linear característica do corpo, η é o coeficiente de viscosidade dinâmica. Se R é menor que mais ou menos 2000 pode ser considerado pequeno, caso contrário, será grande.

Como o coeficiente de viscosidade cinemática é $\nu = \eta / \rho$, obtemos a segunda expressão acima para o número de Reynolds. O número de Reynolds é um critério muito importante em todo o estudo da mecânica dos fluidos.