

**Resumo:** Neste trabalho fizemos uma análise crítica de experimentos que se propunham a simular o efeito estufa. Foi observado que muitas perguntas ainda não foram respondidas, como por exemplo se o sistema deve ser mantido aberto ou fechado. Atividades experimentais, do tipo investigativa, podem ser de grande valia não apenas na busca por tais soluções mas no desenvolvimento de habilidades dos alunos, sejam elas técnicas ou cognitivas.

## INTRODUÇÃO

A abordagem experimental nos cursos de natureza científica é reconhecidamente importante. Entretanto, muitas vezes, o professor aplica de forma ineficiente considerando apenas a aquisição de técnicas manipulativas. Apresenta-se um protocolo, e o aluno deve segui-lo sem questioná-lo e sem nenhum poder de decisão, percorre uma série de passos na busca de uma resposta já determinada, sendo esta o que importa em detrimento do processo (elaboração do experimento, coleta e análise dos dados) (STUART, MARCONDES, E CARMO 2009). Quando a atividade experimental segue essa direção, além de privar o aluno no desenvolvimento de várias habilidades, o impulsiona na direção do senso comum, em que o experimento comprova a teoria servindo apenas como ilustração da aula teórica (AZEVEDO, 2004).

Uma alternativa é dar ao experimento um caráter problematizador. Quando o experimento perde sua forma engessada de receita pré-estabelecida e se torna um desafio, o aluno além de desenvolver suas habilidades de manipulação também aprende a levantar questões, formular hipóteses, comunicar suas ideias e refletir sobre estas, planejar a experiência, coletar e analisar os dados, conjecturar sobre os erros e tirar conclusões e ainda aprende a cooperar, a trabalhar em grupo, a argumentar. Esse tipo de experimentação é denominada investigativa (AZEVEDO, 2004).

O Efeito estufa é um tema polêmico. Há aqueles que defendem esta tese e a propagam alarmando sobre uma possível exacerbação, enquanto outros a

negam argumentando não se passar de uma falácia (BLÜCHEL, 2008). Não é do escopo deste trabalho tomar partido, ou apresentar as evidências de ambas as correntes, mas sim sugerir o efeito estufa como tema para aulas experimentais.

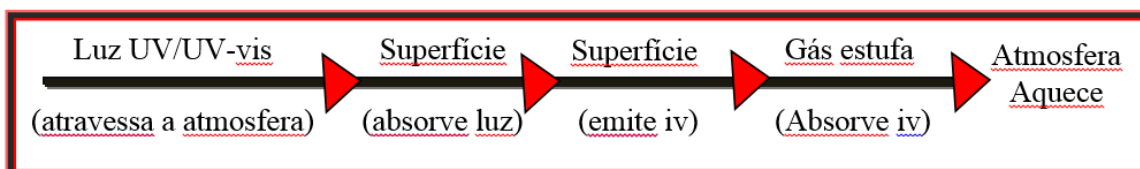
## OBJETIVO

Realizar uma análise crítica de experimentos que se propõem a simular o efeito estufa, demonstrando como este pode ser um elemento rico no estudo da filosofia da ciência e na construção de modelos, através das atividades experimentais investigativas.

## METODOLOGIA

Foi feita uma busca sobre atividades experimentais que se propunham a simular, modelar, demonstrar o efeito estufa nos livros de Química aprovados pelo PNL 2012 e em periódicos através da *Web of Science* e do *Google Acadêmico*. Foram localizados 11 experimentos, que foram separados em 2 grupos. No primeiro constam os experimentos que não se enquadram no conceito “Efeito Estufa” (Falso Efeito Estufa). No segundo grupo o conceito estava presente mesmo que de forma não proposital. Neste trabalho apenas o segundo grupo será apresentado. O primeiro será tratado em outro trabalho.

Se enquadrar no conceito significa que os autores se preocuparam em construir um sistema do tipo:



## RESULTADOS

O número de experimentos nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2012 é aproximadamente 200 (TOLEDO e FERREIRA, 2012). Entretanto nenhum destes tem por objetivo simular o efeito estufa. Entre os artigos na literatura nacional e internacional também existe pouca atenção à atividade relacionada ao ensino, sendo que foram encontrados apenas 11 experimentos e nenhum utiliza a abordagem investigativa, já que apenas citam o protocolo como uma trivial receita.

Cinco experimentos foram enquadrados na categoria em que o conceito foi mantido. Os dois primeiros (Figura 1) são muito similares, exceto por alguns detalhes.

Em ambos foram utilizados dois béqueres idênticos (250 ml) sobre a bancada e a 15 cm de uma fonte de luz (100 W [1<sup>o</sup>] e 275 W [2<sup>o</sup>]). Um disco de adequado diâmetro, com uma superfície preta opaca (latão escurecido com solução de NaOH e K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> [1<sup>o</sup>], folha de chumbo [2<sup>o</sup>]) é colocado no fundo de cada béquer. A Temperatura é mensurada (Termopar [1<sup>o</sup>], Termômetro de mercúrio [2<sup>o</sup>]) a cerca de 2 cm acima do fundo. A luz é acesa e logo os béqueres atingem uma temperatura constante. Então, um deles é preenchido lentamente com o gás estufa (CO<sub>2</sub>) através de um tubo de vidro. Durante esta operação o outro béquer é coberto com uma placa de vidro. Quando finaliza-se o preenchimento (após cerca de 30s), o tubo de vidro e a placa são removidas e continua-se o monitoramento da temperatura, que após um curto tempo acentua-se chegando a uma diferença de 10°C [1<sup>o</sup>] e 8°C [2<sup>o</sup>].

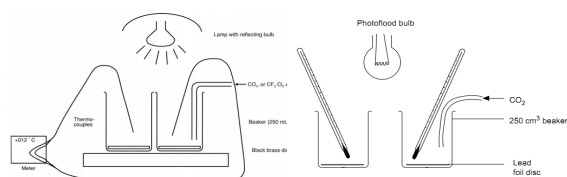


Figura 1. Simulação do Efeito Estufa 1o (ADELHELM e HÖHN,1993) e 2o (LISTER, 1995)

Apesar de ambos os experimentos serem equivalentes, o segundo experimento foi apresentado como uma receita, não explicou a razão de nenhum procedimento.

O primeiro apresentou uma riqueza maior de detalhes. Os autores expuseram que o experimento poderia se repetir para outros gases desde que fossem mais densos do que o ar. Explicou também que o corpo negro no fundo era imprescindível para que houvesse a conversão da luz visível à radiação infravermelha e que o Termopar poderia ser substituído por um termômetro de mercúrio,

mas devido à sua alta capacidade de aquecimento o efeito seria menos perceptível, o que pode ser observado no resultado do segundo, já que mesmo utilizando uma lâmpada com o dobro da potência ainda resultou em uma temperatura diferencial menor. O primeiro experimento ainda enfatiza que similarmente a atmosfera, há efeitos das correntes de convecção térmica e fluxo de calor, mas que ao utilizar uma sonda sensível ao infravermelho pode-se demonstrar que a contribuição destes é relevante para a temperatura média.

Ambos os experimentos não discutiram a escolha dos materiais, a potência da lâmpada utilizada nem a forma de se obter o dióxido de carbono. Também não apontam a razão de se tampar um béquer enquanto o outro era preenchido com CO<sub>2</sub>. A explicação de porque não fechar o recipiente limitou-se a ausência de necessidade, já que o CO<sub>2</sub> é mais denso que o ar e ficaria retido no sistema por alguns minutos. Mas e se tampasse? O que mudaria? Obteríamos um diferencial maior depois de um tempo maior? Ou fazer deste um sistema fechado pode resultar na supressão da temperatura diferencial?

No terceiro experimento (Figura 2) os autores montaram dois sistemas idênticos com aquários de 19 litros cada e distantes entre si em 5-10 cm, com substratos (rochas de aquário ou areia preta) distribuídos uniformemente em seu interior, duas fontes de luz (lâmpada de 250 W) e um termômetro em cada aquário, distantes 2-3cm do fundo. No centro de cada aquário foi colocado um prato de vidro transparente (que também poderia ser escuro) e dentro destes foi colocado bicarbonato de sódio. As lâmpadas eram acesas e anotava-se as temperaturas até que estabilizassem. Então colocava-se vinagre no prato de um dos aquários e no outro água (ou nada). Os aquários foram mantidos sem tampa. Como resultado final, o tanque experimental (Vinagre + NaHCO<sub>3</sub>) aqueceu mais rapidamente e atingiu uma temperatura mais elevada do que o tanque controle. Como todos as variáveis são iguais, os autores atribuíram o aquecimento diferencial ao efeito do CO<sub>2</sub> produzido no tanque experimental.

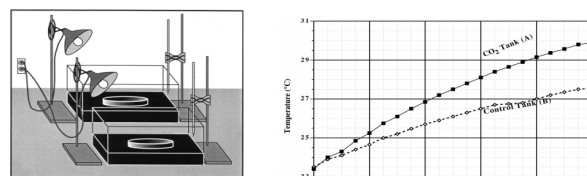


Figura 2. Simulação do Efeito Estufa (LUEDDECKE et al 2001)

O primeiro aspecto a chamar a atenção é a completa ausência de explicação sobre a razão de se ter um substrato, assim como a necessidade do

mesmo ser de coloração escura. Porém o que mais chama a atenção neste experimento é a falta de discussão dos autores ao referirem-se a presença de uma tampa no sistema. Os autores explicam que os aquários foram mantidos sem tampa, o que não é um problema tendo em vista a densidade do gás. Entretanto, diferente dos experimentos 1 e 2, os autores dizem ter tentado realizá-lo com a presença de uma tampa fabricada exclusivamente para esses aquários, feita de fibra de vidro (mesmo material do aquário) e afirmam também que as primeiras tentativas fracassaram, pois a presença da tampa anulava o diferencial da temperatura por motivos desconhecidos. Porém, depois de algumas tentativas, sem citar quantas, o experimento funcionou. Eles atribuíram o fracasso ao desconhecimento e incertezas iniciais, porém não tentam explicar quais os motivos para a falha nem se foi feita alguma modificação para alcançar o sucesso. Essa informação é muito interessante, tendo em vista que os experimentos anteriores nem citaram uma tentativa de se tampar os béqueres.

Ainda com relação ao terceiro experimento os autores sugerem que o professor repita o procedimento alterando a posição do aquário para mostrar que a diferença da temperatura não é proveniente da lâmpada e que se testem diferentes quantidades de reagentes.

Segundo os autores:

“esta demonstração mostra aos alunos que o efeito estufa é a manifestação global de uma forma simples e bem conhecida do fenômeno físico (Tradução nossa-LUEDDECKE et al 2001)”

Esse comentário foi equivocado, pois coloca o efeito estufa não apenas como uma verdade absoluta e óbvia, mas também reduz toda a atmosfera terrestre a um experimento trivial. Seria extremamente importante esclarecer que os resultados evidenciam que a presença de CO<sub>2</sub> na atmosfera retém calor e somente isso. Experimentos que mostrem um recipiente contendo CO<sub>2</sub> aquecendo mais do que um com apenas ar, não são suficientes para se atribuir ao gás a responsabilidade pelo efeito estufa natural, tampouco por um possível aquecimento, visto que sua concentração na atmosfera terrestre está a nível de traço. Supondo que não haja uma mudança na energia advinda do sol e na variação do campo magnético, mas houvesse um aumento significativo da concentração de dióxido de carbono na atmosfera terrestre, ainda assim experimentos como estes não permitiriam prever o que aconteceria com os outros gases atmosféricos nem com a superfície terrestre. Essa impossibilidade de previsão é consequência da complexidade atmosférica, sendo a temperatura média resultado de diversos fatores a mudança em um deles poderá

alterar outros o que resulta em um comportamento errático.

O quarto experimento (Figura 3) descreve uma simulação utilizando uma caixa em que a variação principal é a presença ou ausência de uma tampa e de CO<sub>2</sub> em seu interior. A caixa é feita de plástico e em seu interior há uma placa de alumínio preta. A temperatura é controlada por um sensor nas condições:

-caixa sem tampa e com ar

-caixa com tampa e ar

-caixa sem tampa e com CO<sub>2</sub> (produzido pela reação entre o vinagre e o bicarbonato de sódio)

Nesse experimento a caixa é exposta a energia solar, sendo que os autores sugerem que essa tampa seja de vidro transparente (ou plástico), o que nos induz a pensar que não há diferença entre estes materiais quanto a interação com a luz. Entretanto o vidro é um melhor condutor de calor, assim é de se esperar que mais calor se dissipe para o meio. A chapa preta é comparada à superfície do planeta, e a atmosfera à tampa. Como resultado os alunos observam que a introdução do CO<sub>2</sub> faz com que a temperatura da placa preta, aumente significativamente.



Figura 3. Simulação do Efeito Estufa (BESSON et al 2010)

Novamente, quando o CO<sub>2</sub> estava envolvido em um teste a tampa foi dispensada, enquanto que na presença apenas do ar o experimento foi realizado com e sem ela, o que nos leva a refletir, seguindo o raciocínio do experimento 3, que a tampa + CO<sub>2</sub> causa um suprimento da temperatura atrapalhando a análise diferencial.

No quinto experimento (Figura 4) uma lata de Coca-Cola à temperatura ambiente é vertida em uma jarra sendo mantida sob agitação constante para que libere o gás. Depois da descarbonatação, o refrigerante é transferido para uma garrafa PET de 2 L. Uma segunda lata é colocada cuidadosamente, em uma segunda garrafa PET de 2 L para minimizar o gás liberado para a atmosfera. Após total transferência, a garrafa é agitada de modo que libere o gás e este substitua o ar. Ambas são mantidas abertas para que a pressão seja a mesma. Após essa preparação do sistema uma rolha com um termômetro é utilizado para fechá-las. As garrafas são então colocadas ao sol, com atenção para que recebam a mesma quantidade de luz e que fiquem sobre a mesma superfície. A temperatura

é então registrada por algum tempo. Como resultado, obteve-se que a garrafa com CO<sub>2</sub> aquece-se mais rapidamente e atinge um pico maior de temperatura. Um grupo de estudantes as colocaram na neve e observaram que a temperatura em ambas reduziram com velocidades diferentes, sendo que a temperatura da garrafa com CO<sub>2</sub> teve uma queda menor.



Figura 4. Simulação do Efeito Estufa (KREATING, 2007)

Apesar do autor citar que o refrigerante deve estar a temperatura ambiente, ele não explicou o motivo. Possivelmente a razão para isso é que se o refrigerante estivesse gelado seria mais difícil remover o CO<sub>2</sub> do líquido tendo em vista que a solubilidade reduz com a temperatura. Ao colocá-lo no sol, a temperatura aumentaria razoavelmente o que desprenderia gás para a atmosfera da garrafa, contaminando o controle e interferindo nos resultados, e provavelmente reduzindo a variação da temperatura.

O autor também diz ser possível utilizar outros refrigerantes, porém com alguns ele não obteve bons resultados. A explicação fornecida refere-se à quantidade de CO<sub>2</sub> liberada por diferentes refrigerantes. Segundo o autor, a Coca-Cola teria uma quantidade maior de gás, o que indica que o autor não se atentou para o que os outros artigos acima frisaram: a necessidade de se ter um corpo negro dentro do recipiente. Refrigerantes que não são pretos, ou até a própria água gaseificada, não podem fornecer bons resultados porque não ocorre alta absorção de UV e emissão de IV pela superfície. Essa é uma discussão muito importante que os autores preteriram, talvez por não terem ponderado sobre o papel da superfície terrestre no efeito estufa.

Por fim, os autores fornecem uma explicação importante, ao dizer que há uma diferença significativa entre a atmosfera nas duas garrafas e a atmosfera planetária. Explicam também que não há camadas atmosféricas na garrafa, nem circulação de ar, precipitações ou processos dinâmicos como pode ser encontrado em uma atmosfera planetária.

## CONCLUSÃO

Entre os experimentos encontrados na literatura que visam simular o efeito estufa, várias perguntas ainda não foram respondidas: Como escolher entre as diversas possibilidades do mercado a lâmpada

mais adequada levando em consideração tanto sua potência como a região do espectro em que a mesma emite luz? Qual material satisfatoriamente representa a superfície absorvendo ultravioleta e emitindo infravermelho? Qual o melhor material para o recipiente e se este deve ser mantido aberto ou fechado?

Essas são perguntas que o estudante instruído em filosofia da ciência e em atividades investigativas deveria se fazer. Para respondê-las é preciso não apenas do conhecimento teórico segregado mas compreender como uma resposta interage com a outra. Uma sugestão é que o professor organize os alunos em grupos e que cada grupo trabalhe uma variável. É preciso levar em consideração que a resposta mais intensa em termos de diferencial de temperatura não significa que este seja o melhor modelo. Segundo a própria Filosofia da Ciência: através de premissas falsas também é possível obter resultados verdadeiros, ou no caso, desejados, pois o que seria a verdade?

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADELHELM, M.; HÖHN, E.-G. A simple demonstration of the greenhouse effect. *Journal of Chemical Education*, v.70, n.1, p.73-74, jan, 1993.
- AZEVEDO, MC.P.S. Ensino por investigação : problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A.M.P. Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática, São Paulo: Pioneira Thomson Learnin, 2004, p.19-33.
- BESSON, U.; AMBROSIS, A. D.; MASCHERETTI, P. Studying the physical basis of global warming: thermal effects of the interaction between radiation and matter and greenhouse effect. *European Journal of Physics*. v.31,n.2, p.375-388, feb, 2010..
- BLÜCHEL, K.G. A fraude do efeito-estufa: aquecimento global, mudança climática: os fatos. Tradução: Hermann Lobmaier. 1ª edição. São Paulo: Publishing House Lobmaier, 2008
- KREATING, C.F. A simple experiment to demonstrate the effects of greenhouse gases. *The Physics Teacher*. v.45. n.6, p.376-378, set, 2007.
- LUEDDECKE, S.B.; PINTER, N.; MCMANUS, S.A. Greenhouse effect in the classroom: a project-and laboratory-based curriculum. *Journal of Geoscience Education*, v.49, n.3, p.274-279, may, 2001.
- LISTER, T. The Greenhouse Effect-2. In: Lister, T. *Classic Chemistry Demonstrations*. London: The Royal Society of Chemistry, 1995. (171-173).

SUART, R.C.; MARCONDES, M.E.R.; CARMO, M.O. Atividades experimentais investigativas: utilizando a energia envolvida nas reações químicas para o desenvolvimento de habilidades cognitivas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7, 2009, Florianópolis. Anais... Florianópolis, ABRAPEC, 2009

TOLEDO, E. J. de L.; FERREIRA, L.H. Análise dos experimentos nos livros aprovados pelo PNLD 2012 Parte 1. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, X ENCONTRO DE EDUCAÇÃO QUÍMICA DA BAHIA, Anais... Salvador, jul. 2012.