

EXPLORANDO A NATUREZA RADIATIVA DO SOL: SEQUÊNCIA DIDÁTICA UTILIZANDO A DINÂMICA DOS GASES SIMULADA COM APPLETS

*EXPLORING THE RADIATIVE NATURE OF THE SUN: TEACHING SEQUENCE
USING SIMULATED GAS DYNAMICS WITH APPLETS*

Aline Cruz do Nascimento¹
Ana Figueiredo Maia²
Sérgio Scarano Junior³

Resumo

O avanço tecnológico tem ganhado espaço na área educacional com a discussão e defesa da importância de usar ferramentas computacionais para auxiliar a aprendizagem de conteúdos complexos. Desde 2020, isso se tornou fundamental devido ao fechamento das escolas e ao ensino remoto obrigatório causado pela pandemia da COVID-19. Neste trabalho, utilizamos ferramentas digitais de ensino em uma sequência didática acerca da Lei Geral dos Gases Ideais, tendo o Sol como tema motivador. Planejamos a sequência didática utilizando o método Jigsaw, permitindo a dedução da Lei Geral dos Gases Ideais a partir dos resultados de grupos de estudantes para as leis de Boyle, Charles, Gay-Lussac e Avogadro, junto com a interpretação microscópica das variáveis macroscópicas simuladas (temperatura, pressão e volume). Para estudar as propriedades gerais dos gases, utilizamos a simulação interativa "Propriedade dos Gases" do projeto PhET® Colorado. Fornecemos subsídios e tutoriais para tornar o aprendizado mais lúdico, permitindo que os estudantes estudassem as leis e, ao final, resolvessem um desafio para encontrar a equação da Lei Geral dos Gases Ideais e discuti-la. Além de expandir os conteúdos do currículo básico, exploramos a presença dos gases ideais na estrela solar e em diferentes tipos de transformações. Por meio dessa dinâmica, foi possível observar que os estudantes aprofundaram conhecimentos acerca da relação entre o Sol e a Termodinâmica, sobretudo como o Sol, por boa parte de seu tamanho, pode ser tratado como um gás ideal, ajudando a compreender e extrapolar a distribuição de sua pressão, de seu volume e de sua temperatura.

Palavras chave: Ensino de Física; Gases ideais; Método Jigsaw; Simulações interativas.

¹ Mestre em Ensino de Física pelo Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Atualmente, leciona como professora de física no Centro de Excelência Doutor Milton Dortas.

² Doutora em Tecnologia Nuclear pela Universidade de São Paulo (USP). É Professora Titular do Departamento de Física da Universidade Federal de Sergipe (UFS) e do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

³ Doutor em Astrofísica pela Universidade de São Paulo (USP). Professor no Departamento de Física da Universidade Federal de Sergipe (DFI/CCET/UFS).

Abstract

The technological advancement has been gaining ground in the educational field with the discussion and advocacy of the importance of using computational tools to assist in the learning of complex content. Since 2020, this has become crucial due to the closure of schools and mandatory remote learning caused by the COVID-19 pandemic. In this work, we used digital teaching tools in a didactic sequence regarding the Ideal Gas Law, with the Sun as the motivating theme. We planned the didactic sequence using the Jigsaw method, allowing the deduction of the Ideal Gas Law from the results of student groups for the Boyle, Charles, Gay-Lussac, and Avogadro laws, along with the microscopic interpretation of simulated macroscopic variables (temperature, pressure, and volume). To study the general properties of gases, we used the interactive simulation "Gas Properties" from the PhET® Colorado project. We provided resources and tutorials to make learning more playful, allowing students to study the laws and, in the end, solve a challenge to find and discuss the equation of the Ideal Gas Law. In addition to expanding the contents of the basic curriculum, we explored the presence of ideal gases in the solar star and in different types of transformations. Through this dynamic, it was possible to observe that students deepened their knowledge of the relationship between the Sun and Thermodynamics, especially how the Sun, for a significant portion of its size, can be treated as an ideal gas, helping to understand and extrapolate the distribution of its pressure, volume, and temperature.

Keywords: Teaching Physics; Ideal gases; Jigsaw Method; Interactive simulations.

Introdução

O estudo dos gases é uma das abordagens de conteúdos do Ensino Médio e tem como foco compreender o que lhes acontece, considerando variáveis macroscópicas, como sua temperatura, sua pressão e seu volume. Esse estudo auxilia no entendimento de vários fenômenos do cotidiano, como, por exemplo, o funcionamento das máquinas térmicas, permitindo que os estudantes relacionem a física com fatores do dia a dia e, assim, obtenham melhor compreensão a respeito deles. No entanto, os estudantes podem apresentar dificuldades de compreensão do assunto, devido a forma como o ensino tradicional o apresenta no ensino médio, sendo assim interessante apresentar novas formas para sua aplicação (SIQUEIRA, 2013).

Assim, o produto tem o objetivo de apresentar o conteúdo de Termodinâmica de maneira dinâmica, relacionando-o com os gases presentes no Sol. Além de buscar o auxílio de simulações para aumentar o interesse dos estudantes no assunto. Assuntos como as leis da Termodinâmica, o comportamento dos gases em transformações isotérmicas, isobáricas e isocóricas, o número de Avogadro e a equação de estado de um gás ideal, estão presentes nos currículos da Educação

Básica, e podem ser mediados didaticamente por meio das tecnologias digitais da informação e comunicação. A Termodinâmica pode ser estudada de diversas maneiras, estas potencializadas ao serem relacionadas com tema de interesse dos estudantes, entre as quais sua relação com temas como a Astronomia e a Tecnologia (VIDAL JÚNIOR, 2010).

Em Astronomia, o Sol, como qualquer estrela, permite explorar os temas de física mencionados com muita propriedade, devido sua alta composição de gases (SARAIVA, OLIVEIRA FILHO & MULLER, 2014). Em termos de Tecnologia, a utilização de APPLETS e atividades lúdicas desenvolvidas por meio deles podem ser explorados com o intuito de estabelecer dinâmicas que facilitem a compreensão da presença dos gases ideais na estrela solar.

A proposta deste trabalho foi expor uma forma não-usual de apresentar os conteúdos da Termodinâmica no Ensino Médio, usando simulações e tendo como tema motivador o estudo da natureza do Sol, para cativar a atenção dos estudantes e permitindo, também, que conheçam um pouco mais sobre a astronomia solar. Trazer estudos referente a astronomia para o Ensino médio, além de ser um assunto que atrai muito os estudantes, ele também permite a compreensão da natureza ao interligar as ciências humanas e exatas (VIDAL JÚNIOR, 2010). De acordo com Medeiros (2002), o uso das simulações nas salas de aula auxilia nas interações entre os estudantes e torna os conceitos abstratos mais concretos.

Para isso, foi utilizado um APPLET, que se refere a um programa de computador pequeno, que pode ser baixado como um Java ou ser usado de forma *online* diretamente pelo site. O APPLET utilizado para melhor explicar o estudo dos gases no Sol durante as aulas foi o PhET® Propriedade dos Gases, da Universidade do Colorado. Criado em 2002 pela Universidade de Colorado Boulder, ele conta com simulações interativas gratuitas de ciências e matemática, um site de fácil acesso e bem estruturado com várias simulações (ARANTES, MIRANDA & STUDART, 2010).

Foi utilizado como metodologia o método Jigsaw, ele proporciona o trabalho em equipe e funciona como um quebra-cabeça, no qual a função de cada integrante é de extrema importância para a conclusão do trabalho, com isso, todos os estudantes participam de forma efetiva (SANTOS, 2018). A aplicação com o método Jigsaw permitiu a dedução da Lei Geral dos Gases Ideais a partir da combinação dos resultados encontrados por grupos de estudantes para as leis de Boyle, Charles, Gay-

Lussac e Avogadro, juntamente com a interpretação microscópica das variáveis macroscópicas simuladas (temperatura, pressão e volume).

Para apresentação do produto educacional decorrente, foi elaborada uma sequência didática, dividida em cinco momentos, sendo alguns *off-line* e outros *on-line*. Sendo os momentos *on-line* durante o horário de aula, compostos por 2 aulas de 50 minutos cada, e os momentos *off-line* como atividade extraclasse. Que obteve como resultado a participação efetiva de todos os estudantes e o interesse em aprender a usar o PhET e as planilhas para maior compreensão do estudo dos gases presentes no Sol. O presente artigo é fruto do produto educacional elaborado no Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física (MNPEF).

Fundamentação Teórica

O estudo dos gases faz parte do conteúdo da Termodinâmica comumente abordado no Ensino Médio e envolve as grandezas fundamentais pressão, temperatura e volume. Essas grandezas são parte do que é denominado de Termodinâmica Clássica.

A Termodinâmica tem duas vertentes essenciais. A abordagem macroscópica, conhecida como Termodinâmica Clássica, lida com as propriedades macroscópicas dos sistemas termodinâmicos e se baseia em leis empíricas, como as leis da Termodinâmica, para prever o comportamento de sistemas termodinâmicos. Em contraste, a Termodinâmica Estatística, a abordagem microscópica, explora o comportamento dos sistemas em termos das interações e movimentos das partículas individuais, como átomos e moléculas. A Termodinâmica Estatística fornece uma base microscópica para as leis macroscópicas da Termodinâmica, conectando os fenômenos termodinâmicos aos aspectos moleculares e estatísticos, possibilitando uma compreensão mais profunda dos sistemas termodinâmicos.

O estudo da natureza dos gases é uma das vertentes que conectam a micro e macroestrutura da matéria, auxiliando na compreensão de alguns fenômenos físicos e químicos, sendo relevante para modelagem e átomos de moléculas e o entendimento das reações químicas. De acordo com Atkins e Paula (2008), os estudos dos gases se sistematizaram no século XVII, com o físico e químico Robert Boyle, que defendeu a química voltada para suprir as necessidades humanas. Ele

escreveu um livro defendendo as ideias de Descartes, no qual valorizava o estudo das substâncias e suas transformações de forma individual (MEDEIROS, 2005).

Ao conviver com Galileu Galilei durante os últimos anos da sua vida, Boyle compreendeu a importância da realização de experimentos para comprovar as teorias físicas e químicas. Boyle realizou experimentos com gases entre 1661 e 1662, concluindo que, a temperatura constante, o volume é inversamente proporcional à pressão:

$$V = \frac{K_{temp}}{p} \Rightarrow K_{temp} = V \times p \quad (1)$$

onde V é o volume, p é a pressão e k_{temp} é uma constante dependente da temperatura.

No entanto, ele não se referiu à temperatura nessa teoria. No ano de 1676, Mariotte repetiu o experimento de Boyle, estabelecendo Lei de Boyle-Mariotte (HALLIDAY, RESNICK & WALKER, 2007), que pode ser explicada por: “A temperatura constante, o volume de uma certa massa constante de um gás é inversamente proporcional à pressão a qual está submetida”. Neste caso, considera-se que foi sofrida uma transformação isotérmica.

Em 1787, o químico e físico Jacques Charles deu continuidade aos estudos dos gases ideais e verificou experimentalmente a relação entre temperatura e volume a uma pressão constante. Em 1802, Louis Joseph Gay-Lussac repetiu estudos semelhantes e publicou o que ficou conhecido como a Lei de Charles, ou primeira Lei de Charles e Gay-Lussac (ATKINS & PAULA, 2008), é representada matematicamente por:

$$V = k \times T \text{ ou } k = V / T \quad (2)$$

onde V é o volume, T é a temperatura e k é uma constante dependente da pressão.

Essa lei afirmava que “A pressão constante, o volume de uma certa massa de um gás é proporcional à temperatura absoluta a qual está submetida” e a transformação gasosa observada neste caso é uma transformação isobárica (HALLIDAY, RESNICK & WALKER, 2007).

No elenco de transformações gasosas, há ainda a possibilidade de manter o volume do gás constante, permitindo a variação da pressão e da temperatura, que se denomina de isocórica ou isovolumétrica (CAMEL & FILGUEIRAS, 2013). Esta transformação é regida pelo que ficou conhecida como Lei de Gay-Lussac ou segunda Lei de Charles e Gay-Lussac, descrita como: “*mantendo-se constante o volume, as pressões de uma massa gasosa variam linearmente com a temperatura*”. Isto pode ser representado por:

$$p = k \cdot T \text{ ou } k = p / T \quad (3)$$

onde p é pressão, T é a temperatura e k é uma constante dependente do volume.

Em seguida, o cientista Amadeo Avogadro, responsável por distinguir moléculas de átomos e defender de forma convicta a estrutura atomística da matéria, desenvolveu, no ano de 1811, sua lei denominada de Lei de Avogadro (MAGALHÃES, FERNANDES, & FERREIRA, 2009), na qual afirmava que “volumes iguais de gases diferentes contêm igual número de moléculas quando medidos nas mesmas condições de temperatura e pressão” (CASTELLAN, 2007). Ou seja, em situações de pressão e temperaturas constantes, tem-se:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (4)$$

onde V é o volume e n é o número de mols.

Esse pensamento inspirou a definição do conceito de mol e auxiliou na descoberta da quantidade de partículas presente numa massa molar, conhecido como número de Avogadro, sendo $6,023 \times 10^{23}$. Castellan (2007) cita que, em 1834, o engenheiro e físico-químico Benoit Paul Émile Clapeyron uniu os experimentos realizados até então por Boyle, Charles, Gay-Lussac e Avogadro e encontrou a equação dos gases ideais, dada por:

$$pV = nRT \quad (5)$$

onde P é a pressão, V é o volume, n é o número de moles, R é a constante de proporcionalidade, e T é a temperatura.

O Sol e sua relação com os gases ideais

O Sol é a estrela mais próxima da Terra, responsável por ser a fonte de energia que sustenta o planeta e que mantém a vida, por estabelecer as condições térmicas ótimas para reações bioquímicas, ciclos físicos, como das chuvas, e químicos, como a do oxigênio ou de fixação do carbono, e biológicos, como a do processo da fotossíntese. Por ocupar 99,86% da massa total do sistema, ele é o astro dominante, sendo o ponto do centro de gravidade do Sistema Solar, em torno do qual todos os demais corpos transladam. Ao contrário do que comumente se pensa, que o Sol é uma “bola de fogo”, de acordo com Darroz *et al.* (2016), Chown (2014) e Langhi (2011), ele, na verdade, é uma esfera gasosa de material em estado de plasma que, por uma grande extensão seu tamanho, tem densidades não muito diferentes das que encontramos na Terra, mas que aumentam muito próximo ao centro da estrela. Apenas nos 10% mais interiores e que as densidades, temperaturas e pressões são grandes o suficiente para produzir energia através de reações nucleares (SARAIVA, OLIVEIRA FILHO & MULLER, 2014).

Embora as reações de fusão nucleares que ocorrem no Sol sejam responsáveis pelo aquecimento do material que condensa o núcleo, a energia térmica liberada na superfície solar não é a mesma radiação produzida nele. Núcleos de hidrogênio (prótons) sofrem fusão nuclear gerando partículas alfa. O excesso de massa desta transformação se converte em energia pela famosa equação de Einstein ($E = mc^2$) e leva milhares de anos até ser liberada pela “superfície” solar, numa região conhecida como fotosfera, sendo liberada em forma de calor por meio de radiação eletromagnética nos mais diferentes comprimentos de onda, aproximadamente como um corpo negro. Antes de serem liberadas do Sol, esta energia sofre diferentes efeitos, e contribuem para os fenômenos que ocorrem em diferentes camadas solares.

A energia de radiação pode ser absorvida, mudar a energia cinética de partículas pela pressão de radiação, pode promover mudanças de temperaturas a diferentes distâncias do centro do Sol, chegando a ser transportada por meio de convecção, em células onde grandes porções de gás acabam liberando sua energia e, conseqüentemente, esfriando e descendo novamente para as regiões internas, dando um aspecto granular ao Sol quando observado em um telescópio apropriado (DAS & FERBEL, 2003). Por meio de uma combinação de diversos destes processos,

a energia do núcleo se termaliza e, na região de equilíbrio termodinâmico local (ETL) da fotosfera, são liberados os fótons que recebemos na Terra (MACIEL, 1999).

Como a massa do Sol é $1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$ e seu raio 695.500 km, sua densidade média é 1.409 kg/m^3 . De forma contraintuitiva, a densidade média da Terra é bem maior, com cerca de 5510 kg/m^3 . Por este motivo, ela recebe a nomenclatura de planeta rochoso. Ele se contrapõe a planetas, como Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, que têm densidades médias inferiores a 1600 kg/m^3 , conhecidos por este motivo como planetas gasosos. Isto é, o Sol está muito mais próximo da física de objetos gasosos do que sólidos. Mas, temos que ficar atentos que um gás é altamente compressível e, portanto, a densidade média não reflete o seu comportamento ao longo de toda estrutura interna do Sol ou de qualquer estrela; os gases ideais permitem uma primeira aproximação para compreender a distribuição da pressão, densidade e temperatura interna de uma estrela.

Encaminhamento metodológico

Método Jigsaw

O Método Jigsaw de acordo com Fatareli *et al.* (2010) foi criado em 1978 por Aronson e colaboradores, ele se refere a um formato de quebra-cabeça, no qual cada integrante do grupo tem um papel fundamental para a finalização do trabalho, além disso, destaca a importância do trabalho cooperativo e, também, das competências cognitivas dos estudantes. É um método bastante utilizado internacionalmente, mas ainda está em crescimento no Brasil. Este método se aplica de diversas formas a depender da necessidade do conteúdo e da turma, podendo se encaixar ao planejamento do professor.

A forma mais conhecida e utilizada se destaca por ter três procedimentos na sua aplicação. Inicialmente, os estudantes são agrupados em grupos-base, que se sugere que tenham entre 4 e 6. Nos grupos-base, os estudantes recebem o tema geral da aula, que usualmente é o mesmo para todos. Este tema geral é dividido em partes, denominadas de subtópicos, que devem ser independentes e complementares e devem permitir a construção do objetivo final. A cada membro do grupo-base é atribuído um subtópico que definirá a sua especialidade. Em seguida, cada membro se reúne em um novo grupo dedicado ao subtópico sob sua responsabilidade

(SANTOS, 2018). Este novo grupo é denominado de grupo de especialista e conta com membros de outros grupo-base que tenham a atribuição de estudo do mesmo subtópico (FATARELI *et al.*, 2010). Após estudos, leituras, discussão e ao aprenderem o subtópico, os estudantes retornam para seu grupo-base e cada membro explica para o seu grupo as aprendizagens encontradas no grupo de especialista, de forma clara e que possibilite a compreensão de todos (COCHITO, 2004).

Neste produto educacional, a sequência didática proposta usa o método Jigsaw, mas de forma simplificada, com apenas duas etapas, para se adaptar ao modelo de ensino remoto. Os estudantes iniciaram a dinâmica de grupo já na etapa do grupo especialista e o grupo-base só se reuniu após o estudo dos subtópicos, para consolidação das informações dos especialistas num tópico geral, no caso a Lei Geral dos Gases Ideais. Esta adaptação foi importante no ensino remoto, pois o trânsito dos estudantes entre grupos muitas vezes tomava mais tempo do que na aula presencial e o tempo total de aula foi reduzido durante o ensino remoto.

Formação dos Grupos

Neste produto, o tema geral dos grupos-bases foi a Lei Geral dos Gases Ideais, e este tema foi dividido em 4 subtópicos: transformação isotérmica (Grupo A); transformação isobárica (Grupo B); transformação isocórica (Grupo C); Lei de Avogadro (Grupo D).

O número de integrantes nos grupos especialistas depende da quantidade de estudantes na turma. A única condição necessária é que, quando reagrupados nos grupos-base, todos tenham, pelo menos, um integrante de cada grupo especialista. Por exemplo, se o conteúdo tiver 4 subtópicos e a sala de aula tiver 16 estudantes, eles podem ser divididos em 4 grupos especialistas e 4 grupos-base. No entanto, no caso de a sala ter apenas 8 deles, o professor pode reestruturar os grupos, sendo 4 especialistas e 2 grupos-base. Ou, ainda, se a turma tiver muitos estudantes, o docente pode ficar livre para criar mais de um grupo com o mesmo tema especialista, tendo assim mais de 4 grupos especialistas.

No caso deste produto educacional, que se sugere apenas duas etapas no método Jigsaw, é possível postergar a definição dos grupos-base para o final da atividade dos especialistas, para garantir a construção de grupos com todas as especialidades, contornando possíveis estudantes ausentes.

Disposições pedagógicas

O produto educacional desenvolvido e aqui disponibilizado foi aplicado, de forma síncrona, por meio de plataforma de ensino remoto em uma turma de 2º Ano do Ensino Médio no ano de 2021, em escola particular localizada na cidade de Simão Dias no Estado de Sergipe. Devido a pandemia do COVID-19, o produto foi aplicado no ensino remoto, e para isso foi necessário o envolvimento de algumas ferramentas e plataformas auxiliares, como as planilhas eletrônicas, vídeos tutoriais e explicativos e o material instrucional. Algumas dessas disposições pedagógicas podem ser visualizadas na figura 1.

Figura 1: Disposições pedagógicas utilizadas no desenvolvimento e aplicação do produto.



Fonte: Elaboração própria (2021).

Para os momentos *on-line*, é necessário um ambiente de encontro síncrono com possibilidades adicionais para trabalhos em grupos simultâneos. Na aplicação deste produto, utilizamos *Google Meet*, que é uma plataforma de vídeo conferência, com uma extensão denominada *Breakout Rooms*, que é uma ferramenta que permite gerenciamento simultâneo dos grupos pelo docente. Para que os estudantes recebam as principais informações e a entrega de materiais necessários para as aulas, é necessário um ambiente de comunicação rápida e, neste caso, usamos o *Whatsapp*.

Para o trabalho dos grupos no experimento virtual, foram elaboradas tabelas eletrônicas. A disponibilização das planilhas pode ocorrer de diversas formas, mas, na aplicação do produto, escolhemos disponibilizar no *Google Sheets*, para ser possível o trabalho coletivo dos membros do grupo com acompanhamento em tempo real por todos, inclusive pelo professor.

Além desses ambientes, utilizamos *Google Forms*, para os questionários e avaliações, o *YouTube*, para a disponibilização dos vídeos elaborados, o PowerPoint para construção do material instrucional, que foi salvo tanto em PDF quanto formato de vídeos, e o PhET® Colorado para a simulação da dinâmica dos gases. A simulação

permite a representação de um fenômeno físico e serve como forma de experimento para os estudantes. Em termos cognitivos de aprendizagem, o simulador facilita a compreensão dos estudantes sobre o tema proposto, além de desenvolver habilidades, o pensamento crítico e estimular a resolução de problemas.

APLLET – PhET®

É proposto neste trabalho que os estudantes utilizem recursos computacionais para compreensão de maneira mais clara dos fenômenos físicos que envolve a lei geral dos gases. Todas as simulações utilizadas do PhET® encontram-se de forma gratuita; nele, torna-se possível a manipulação dos fenômenos científicos com apelo real.

O APPLLET do PhET® colorado foi criado pela Universidade do Colorado e conta com diversas simulações nas áreas de Física, Química, Biologia, Matemática e Ciências da Terra. Eles podem ser acessados de forma *on-line* ou *off-line*, pelo computador ou *smartphone* e oferece uma grande variedade de possibilidades. No caso deste produto, foi utilizada a simulação interativa “Propriedade dos gases”. O PhET® pode ser facilmente manipulado *online* ao pesquisar no *Google* por “PhET® Propriedades dos gases”. Na figura 2, é possível observar a tela inicial do APPLLET, em que são mostradas algumas opções como “Ideal”, “Explorar”, “Energia e Difusão”. Neste trabalho, foi utilizada a simulação associada à opção “Ideal”, que permite estudar a influência das variáveis de estado (pressão, temperatura e volume) nas propriedades de um gás.

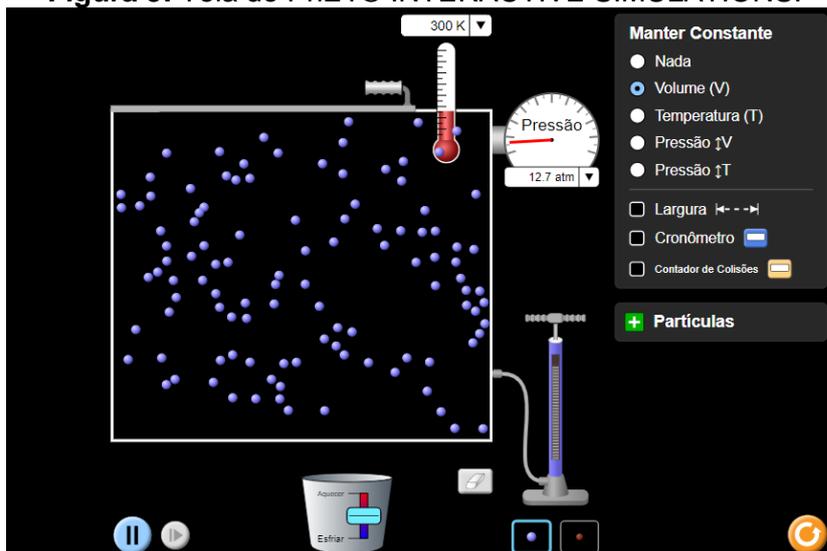
Figura 2: Tela inicial da simulação Propriedade dos Gases.



Fonte: Captura de tela do PhET®, propriedade dos gases (2021).

Pela manipulação do APPLET, é possível observar o comportamento das variáveis do estudo de um gás, seja ele leve ou pesado, dispondo visualmente das grandezas macroscópicas como sua temperatura, pressão e volume, e microscópicas como a energia das partículas e sua velocidade. No recipiente representado pela simulação, há um termômetro anexado na parte interna para a medida da temperatura que já aparece em Kelvin (K), e um manômetro para a medida da pressão que tem escala padrão em atmosferas (atm). Essas unidades podem ser alteradas no aplicativo ao clicar nas setas ao lado das unidades de medida. Como a simulação é bidimensional, é vista apenas uma seção transversal do recipiente que contém o gás, com dimensão vertical fixa e dimensão horizontal variável e que pode ser mensurada usando uma régua virtual. A tela de abertura da simulação “Propriedade dos Gases” mostra todas as grandezas como variáveis e zeradas, precisando da manipulação para que comece a simulação. O aplicativo permite o controle dos diferentes tipos de transformações por meio de caixas de opções disponíveis do lado direito (como pode ser visualizado na figura 3).

Figura 3: Tela do PhET® INTERACTIVE SIMULATIONS.



Fonte: Captura de tela do PhET®, propriedade dos gases (2021).

Isto é, nele é possível escolher quais grandezas devem ser mantidas constantes para melhor compreensão dos fenômenos físicos que nós propomos trabalhar. Por exemplo, para a simulação da transformação isotérmica, seleciona-se

a temperatura como constante e analisa-se como a variação da pressão se altera com o volume.

Para a simulação da transformação isobárica, seleciona-se a pressão constante e observa-se a relação da variação entre a temperatura e o volume, pois também é possível observar a variação do volume a temperatura constante, para a simulação da transformação isocórica, seleciona-se o volume como constante e observa-se a variação da temperatura e da pressão.

Já para a simulação da lei de Avogadro, coloca-se a pressão como constante e controla-se a temperatura para que ela sempre permaneça igual, assim, observa-se apenas a variação do volume de acordo com a quantidade de moléculas inseridas.

Resultados e Discussão

O produto educacional desenvolvido trata-se de uma sequência didática que aborda o conteúdo da termodinâmica, mais especificamente a Lei Geral dos Gases Ideais, com a explicação da sua aplicação ao Sol de forma ilustrativa, tecnológica e grupal. Nesta seção, será apresentada a sequência didática detalhadamente e ao final serão relatadas aplicações desta sequência e sugestões que decorreram destas aplicações.

Apresentação do Produto Educacional: Sequência didática

A sequência didática elaborada neste trabalho foi dividida em cinco momentos, sendo alguns *off-line* e outros *online*, como apresentado resumidamente no Quadro 1. Para os momentos *online*, a sequência conta com quatro aulas de cinquenta minutos de duração cada.

Quadro 1: Sequência didática sugerida

Momentos	Sala	Atividades	Tempo (min)
1º	<i>Off-line</i>	Recebimento e visualização do PDF interativo com roteiro das aulas e <i>links</i> , visualização do vídeo “Explicação do Método”, e dos vídeos tutoriais “Manipulação do PhET®” e “Planilhas Eletrônicas”. Após isso, cada estudante conhece seu grupo especialista.	--

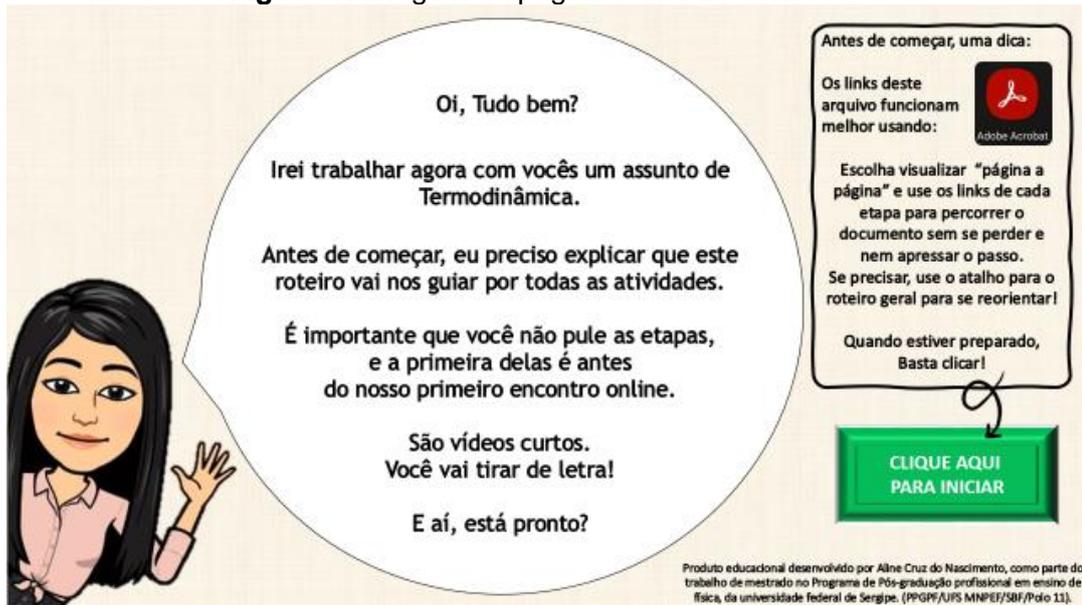
2º	Geral da Turma	Acolhimento dos estudantes na sala do encontro virtual.	10
		Explicação da sequência com vídeo do método, visualização do vídeo explicativo sobre a Física Solar, breve discussão sobre a relação do Sol com a termodinâmica e encaminhamento dos grupos especialistas para as salas específicas na plataforma da sala do encontro virtual.	15
	Grupos de Especialistas	Visualização do vídeo sobre a Lei específica no Grupo de Especialista.	15
		Abertura do PhET® e das planilhas.	15
		Experimento virtual com preenchimento das planilhas disponibilizadas, com anotação dos resultados e breve discussão entre o grupo.	45
3º	Off-line	Responder atividade de assimilação e fixação das leis específicas trabalhadas por cada grupo individualmente. Após isso cada estudante conhece seu grupo-base através de <i>link</i> para <i>Google planilhas</i> .	--
4º	Grupos de Especialistas	Acolhimento e retomada do grupo para lembrar resultados obtidos. Em seguida transição dos estudantes para os grupos-base.	20
	Grupos-Base	Junção dos grupos com explicação e troca de informações de cada especialista sobre sua lei estudada.	20
		Visualização do vídeo da “dinâmica final” pelos grupos. Espaço para o Grupo-Base falar sobre a lei geral dos gases, discutir e encontrarem a equação através da dinâmica proposta.	30
	Geral da Turma	Fechamento do conteúdo Lei Geral dos Gases Ideais pela professora relacionando-o com a Física Solar.	15
Conclusão da sequência com um debate entre estudantes e professora.		15	
5º	Off-line	Responder formulários finais de assimilação e avaliação da sequência didática individualmente, via <i>Google Forms</i> .	--

Fonte: Elaboração própria (2021).

Material instrucional (PDF interativo)

Um material instrucional, na forma de PDF interativo, foi construído para permitir um melhor entendimento e acompanhamento das etapas e detalha todas as etapas da sequência didática. A capa do PDF interativo contém apresentação e orientações gerais, como pode ser visto na figura 4. A segunda página do PDF interativo tem um roteiro geral e permite melhor compreensão dos passos a serem realizados, como pode ser visualizado na figura 5.

Figura 4: Imagem da página 1 do PDF interativo



Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 5: Imagem da página 2 do PDF interativo

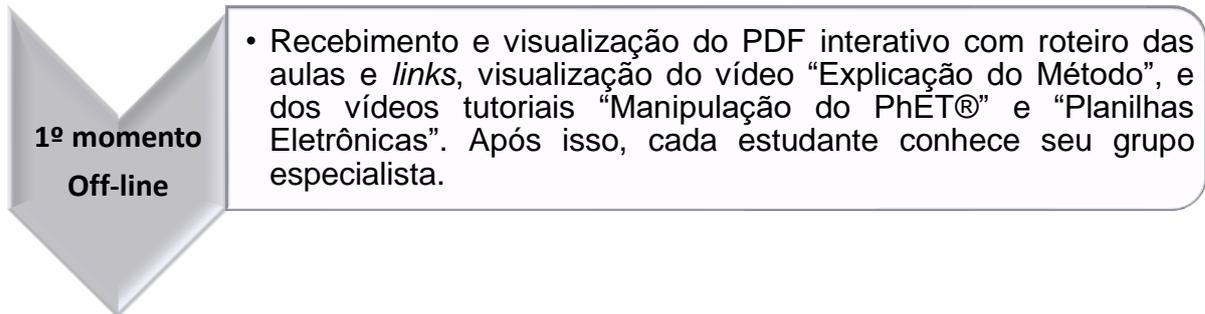
ROTEIRO GERAL



Fonte: Elaboração própria (2021).

Este material instrucional é importante para que as atividades transcorram de maneira mais tranquila e, para tanto, um arquivo com a estrutura, no formato de *PowerPoint*, está disponível para ser baixado e editado no link: <https://tinyurl.com/y7339yxj>. É importante que o docente alimente o arquivo com as informações pertinentes à aplicação a ser realizada e, antes de enviar aos estudantes, salve no formato de PDF, que conterà os links e será um arquivo interativo.

A seguir, está detalhada a organização da sequência didática dividida e explicadas por momentos, fazendo as respectivas correspondências com as páginas do material instrucional.



O primeiro momento da sequência é *off-line* e nele os estudantes recebem o PDF interativo. Na terceira página do material instrucional, como pode ser visto na figura 6, os estudantes têm acesso aos vídeos tutoriais e à tabela com a divisão da turma em grupos especialistas.

Figura 6: Imagem da página 3 do PDF interativo, referente ao 1º momento da sequência didática (1º passo)



Fonte: Elaboração própria (2021).

Os vídeos tutoriais, cujos links já estão postos no arquivo modelo do PDF interativo, são: tutorial do método Jigsaw (<https://youtu.be/hkFeUCjFBbs>), tutorial do uso do PhET® (<https://youtu.be/G13poeKCY4c>) e tutorial do preenchimento da planilha eletrônica (<https://youtu.be/dyTkoK7rEug>). Além disso, é necessário incluir,

no arquivo do material instrucional, uma tabela com a distribuição dos estudantes nos grupos especialistas, como pode ser visto no exemplo disponibilizado em: <https://tinyurl.com/mr4xd63h>.

2º momento
Geral da turma

- Acolhimento dos estudantes na sala geral de encontro virtual.
- Explicação da sequência com vídeo do método, visualização do vídeo explicativo sobre a Física Solar, breve discussão sobre a relação do Sol com a termodinâmica e encaminhamento dos grupos especialistas para as salas específicas na plataforma da sala de encontro virtual.

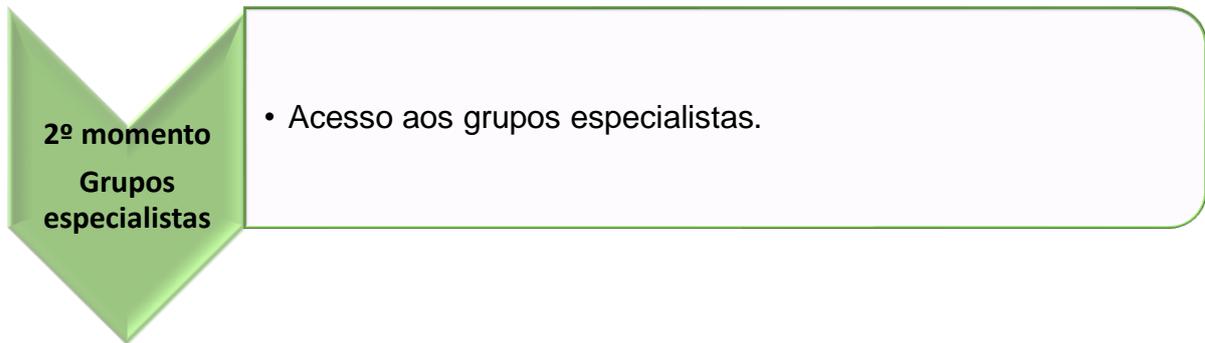
O segundo momento da sequência didática é *online* e dividido em dois passos: o 2º e o 3º passos do material instrucional. O 2º passo é o primeiro momento de encontro síncrono com a turma e começa em uma sala geral, dedicada aos encontros com todos os estudantes. De início, deve ser feita uma explicação sobre a sequência didática e sobre o método Jigsaw. Após isso, deve-se fazer uma breve introdução ao conteúdo. Para tanto, foi elaborado um vídeo (<https://youtu.be/gydcaDNTjBs>) que explica a relação da Termodinâmica com os gases presentes no Sol, que é o tema motivador da sequência. A figura 7 apresenta a página do material instrucional referente a este passo e é necessário incluir no PDF o link para sala de encontro virtual geral da turma.

Figura 7: Imagem da página 4 do PDF interativo, referente ao 2º momento da sequência



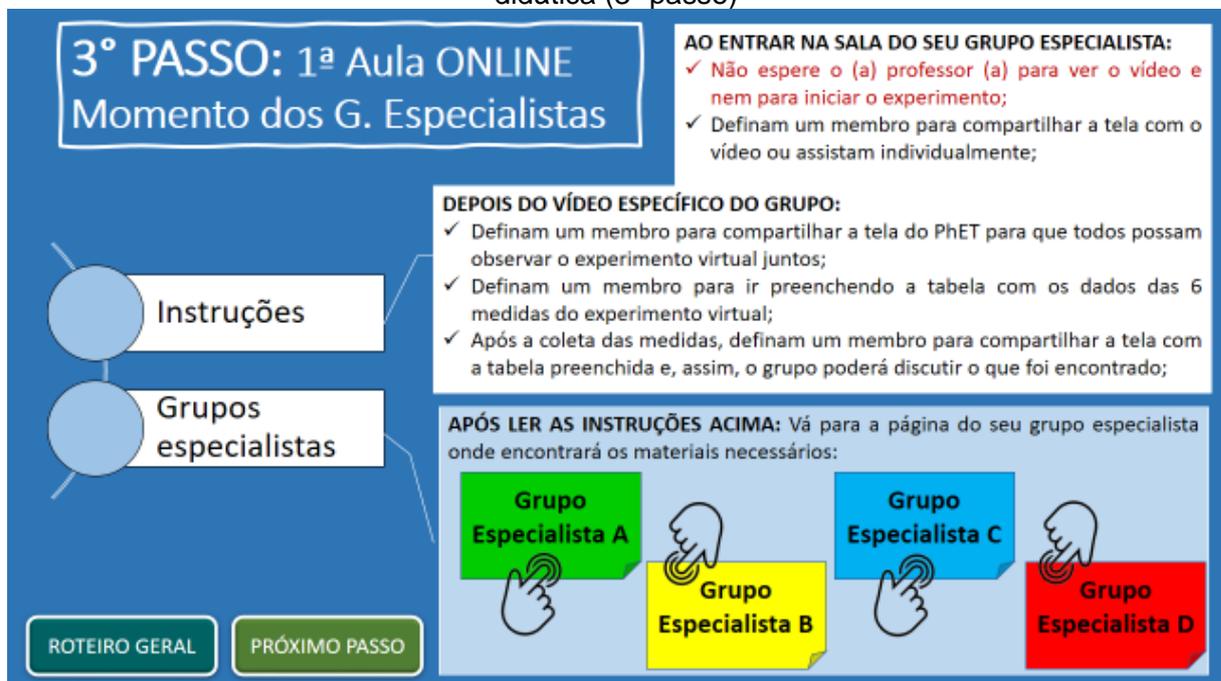
Fonte: Elaboração própria (2021).

Ao final do 2º passo, os estudantes devem ser orientados a acessar às salas dos grupos especialistas, que devem constar no material instrucional, para o 3º passo.



No material instrucional, o 3º passo é apresentado por uma página geral para todos os grupos especialistas, com orientações e com os links para as páginas do material instrucional dedicadas a cada grupo especialista, como mostra a figura 8.

Figura 8: Imagem da página 5 do PDF interativo, referente ao 2º momento da sequência didática (3º passo)



Fonte: Elaboração própria (2021).

Ao acessar as páginas dos grupos especialistas, cada estudante terá suas informações e materiais necessários para realização da atividade. Cada grupo ficará responsável por estudar uma transformação e lei que levará posteriormente ao conteúdo dos gases ideais. No material instrucional, há uma página dedicada a cada grupo.

2º momento

Grupos especialistas

- Visualização do vídeo sobre a Lei específica no Grupo de Especialista.
- Abertura do PhET® e das planilhas.
- Experimento virtual com preenchimento das planilhas disponibilizadas, com anotação dos resultados e breve discussão entre o grupo.

Continuando o 3º passo, ao ser direcionado para a página dedicada ao seu grupo, o estudante terá acesso aos materiais de estudo e a um link para uma sala virtual de encontro *online* com seu grupo. Os links destas salas precisam ser alimentados por cada docente, a cada aplicação.

Em grupos, os estudantes se debruçarão em estudos orientados por um vídeo entregue pelo(a) docente e discutirão e se apropriarão do conteúdo do seu grupo específico. Cada estudante deve ser tornar especialista do conteúdo do seu grupo, pois será responsável por explicar futuramente esse conteúdo no seu grupo-base.

Nesta sequência, o grupo especialista A ficará responsável pela transformação isotérmica e será encaminhado para a página 6 do PDF interativo, como mostra a figura 9, que dispõe dos links do vídeo sobre transformação isotérmica (<https://youtu.be/J7gsU677vUc>) e uma planilha eletrônica específica para o grupo A (<https://tinyurl.com/3m4dda42>).

Figura 9: Imagem da página 6 do PDF interativo. Referente ao grupo especialista A

GRUPO ESPECIALISTA A:
Lei de Boyle-Mariotte

- Instruções
- Link do meet
- Link do vídeo
- Link do PhET
- Link da Planilha

Passos:

- ✓ Entre no link da sala virtual do seu grupo especialista;
- Com seu grupo:**
- ✓ Assista o vídeo da lei específica, atentando para como foi feito o experimento real: **que grandezas variavam?**
- ✓ Realize o experimento com tela compartilhada do PhET e registrando os dados. Se precisar, reveja os tutoriais do PhET e do preenchimento das planilhas;
- ✓ No simulador do PhET, primeiro adicione as partículas ao recipiente para depois selecionar a grandeza que ficará constante;
- ✓ Discuta a planilha preenchida e o gráfico formado;
- ✓ Realize os cálculos para encontrar a constante;

Qualquer dúvida retorne ao 3º passo!

Tutoriais vistos antes

- TUTORIAL PARA USO DO PHET
- TUTORIAL PARA PREENCHIMENTO DAS PLANILHAS ELETRÔNICAS

ROTEIRO GERAL

PRÓXIMO PASSO

VOLTAR AO 3º PASSO

Fonte: Elaboração própria (2021).

O grupo especialista B ficará responsável pela transformação isobárica e será encaminhado para a página 7 do PDF interativo, como mostra a figura 10, que dispõe dos links do vídeo sobre transformação isobárica (<https://youtu.be/PiVvfrDvWJs>) e uma planilha eletrônica específica para o grupo B (<https://tinyurl.com/5xjhjc9t>).

Figura 10: Imagem da página 7 do PDF interativo. Referente ao grupo especialista B

GRUPO ESPECIALISTA B:
Primeira Lei de Charles e Gay-Lussac

Passos:

- ✓ Entre no link da sala virtual do seu grupo especialista;

Com seu grupo:

- ✓ Assista o vídeo da lei específica, atentando para como foi feito o experimento real: **que grandezas variavam?**
- ✓ Realize o experimento com tela compartilhada do PhET e registrando os dados. Se precisar, reveja os tutoriais do PhET e do preenchimento das planilhas;
- ✓ No simulador do PhET, primeiro adicione as partículas ao recipiente para depois selecionar a grandeza que ficará constante;
- ✓ Discuta a planilha preenchida e o gráfico formado;
- ✓ Realize os cálculos para encontrar a constante;

Qualquer dúvida retorne ao 3º passo!

Tutoriais vistos antes

- TUTORIAL PARA USO DO PHET
- TUTORIAL PARA PREENCHIMENTO DAS PLANILHAS ELETRÔNICAS

ROTEIRO GERAL PRÓXIMO PASSO VOLTAR AO 3º PASSO

Fonte: Elaboração própria (2021).

O grupo de especialista C ficará responsável pela transformação isocórica, e será encaminhado para a página 8 do PDF interativo, como mostra a figura 11, e dispõe dos links do vídeo do conteúdo sobre a transformação isocórica (<https://youtu.be/peeLC4fRIFg>) e uma planilha eletrônica específica para o grupo C (<https://tinyurl.com/2ks99ash>). O grupo especialista D ficará responsável pela lei de Avogadro, e será encaminhado para a página 9 do PDF interativo, como mostra a figura 12, que dispõe dos links do vídeo do conteúdo sobre a lei de Avogadro (<https://youtu.be/zcnqetMCLmM>) e uma planilha eletrônica específica do grupo D (<https://tinyurl.com/56adu8bh>).

Em todas as páginas dedicadas aos grupos específicos, da página 6 a 9, o grupo deve ter acesso a links para: (1) sala virtual dedicada ao seu grupo; (2) vídeo explicativo com o conteúdo específico do grupo que orienta uma atividade de simulação de experimento virtual com o uso PhET® Propriedade dos Gases; (3) planilha eletrônica específica para registro e análise das medidas realizadas; (4) site do PhET® Propriedade dos Gases (<https://tinyurl.com/2p9behnu>); (5) tutorial do uso

do PhET® (<https://youtu.be/G13poeKCY4c>); (6) tutorial do preenchimento da planilha eletrônica (<https://youtu.be/dyTkoK7rEug>). Os links para os vídeos específicos e para os modelos de planilha para cada grupo estão apresentados nas legendas da figura 9 a figura 12.

Figura 11: Imagem da página 8 do PDF interativo. Referente ao grupo especialista C

GRUPO ESPECIALISTA C:
Segunda Lei de Charles e Gay-Lussac

Passos:

- ✓ Entre no link da sala virtual do seu grupo especialista;

Com seu grupo:

- ✓ Assista o vídeo da lei específica, atentando para como foi feito o experimento real: **que grandezas variavam?**
- ✓ Realize o experimento com tela compartilhada do PhET e registrando os dados. Se precisar, reveja os tutoriais do PhET e do preenchimento das planilhas;
- ✓ No simulador do PhET, primeiro adicione as partículas ao recipiente para depois selecionar a grandeza que ficará constante;
- ✓ Discuta a planilha preenchida e o gráfico formado;
- ✓ Realize os cálculos para encontrar a constante;

Qualquer dúvida retorne ao 3º passo!

Tutoriais vistos antes

- TUTORIAL PARA USO DO PHET
- TUTORIAL PARA PREENCHIMENTO DAS PLANILHAS ELETRÔNICAS

ROTEIRO GERAL PRÓXIMO PASSO VOLTAR AO 3º PASSO

Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 12: Imagem da página 9 do PDF interativo. Referente ao grupo especialista D

GRUPO ESPECIALISTA D:
Lei de Avogadro

Passos:

- ✓ Entre no link da sala virtual do seu grupo especialista;

Com seu grupo:

- ✓ Assista o vídeo da lei específica, atentando para como foi feito o experimento real: **que grandezas variavam?**
- ✓ Realize o experimento com tela compartilhada do PhET e registrando os dados. Se precisar, reveja os tutoriais do PhET e do preenchimento das planilhas;
- ✓ No simulador do PhET, primeiro adicione as partículas ao recipiente para depois selecionar a grandeza que ficará constante;
- ✓ Discuta a planilha preenchida e o gráfico formado;
- ✓ Realize os cálculos para encontrar a constante;

Qualquer dúvida retorne ao 3º passo!

Tutoriais vistos antes

- TUTORIAL PARA USO DO PHET
- TUTORIAL PARA PREENCHIMENTO DAS PLANILHAS ELETRÔNICAS

ROTEIRO GERAL PRÓXIMO PASSO VOLTAR AO 3º PASSO

Fonte: Elaboração própria (2021).

É preciso alimentar o material instrucional com cópias das planilhas, que estejam ajustadas para permitir que os estudantes trabalhem coletivamente no mesmo arquivo. A todos os estudantes deve ser dada a orientação de iniciarem assistindo ao vídeo do conteúdo específico do tema do grupo. No decorrer do 3º passo, o docente deve percorrer as salas, promovendo e alimentando o debate sobre o conteúdo, para ajudar os estudantes a relacionar as leis com as manipulações e para sanar possíveis dúvidas para que consigam preencher a planilha eletrônica.

3º momento
Off-line

- Responder atividade de assimilação e fixação das leis específicas trabalhadas por cada grupo individualmente. Após isso, cada estudante conhece seu grupo-base através de *link* para *Google planilhas*.

No terceiro momento (4º passo), que acontece *off-line* entre aulas, os estudantes devem ser orientados a acessar a 10ª página do PDF interativo, como mostra a figura 13.

Figura 13: Imagem da página 10 do PDF interativo, referente ao 3º momento da sequência didática (4º passo)

4º PASSO:
Atividade offline entre aulas

APÓS a 1ª aula online:
O aluno deverá responder individualmente um questionário para assimilação e fixação da lei estudada pelo seu grupo especialista. Em seguida poderá clicar nos bonecos e conhecer seu grupo-base.

- Instruções
- Atividade
- Grupos-Base

ROTEIRO GERAL

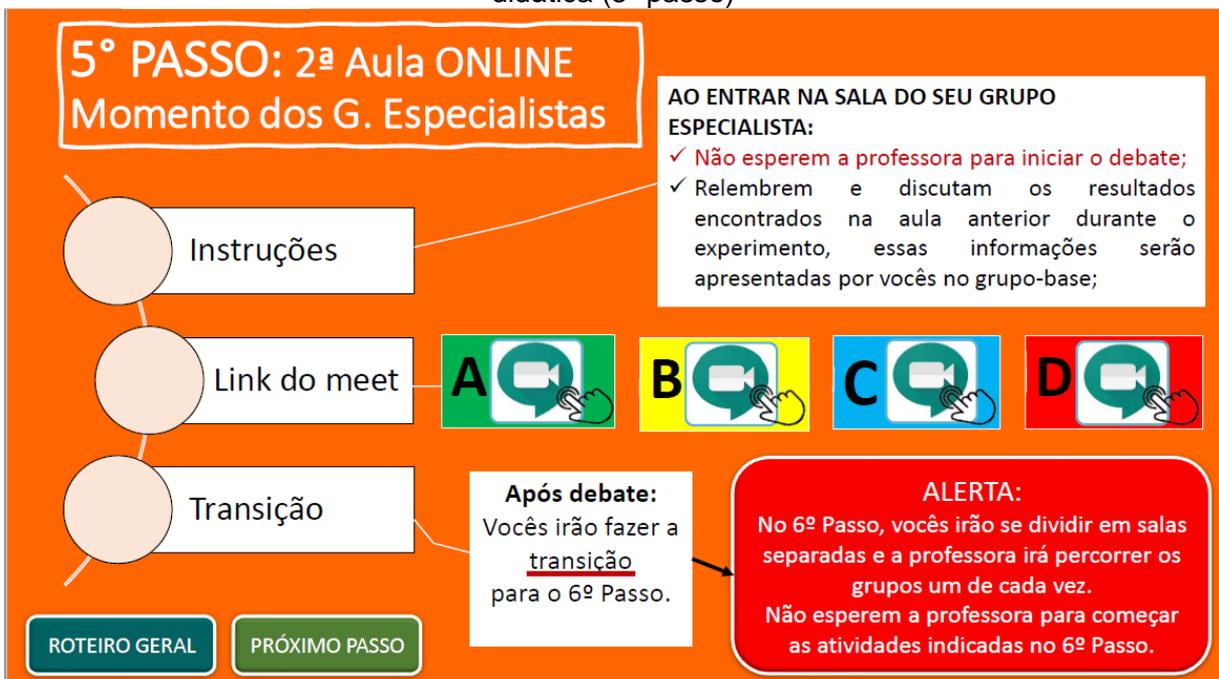
PRÓXIMO PASSO

Fonte: Elaboração própria (2021).

Nesta página, o estudante deverá clicar no formulário dedicado ao seu grupo e responder de forma individual à atividade de assimilação proposta. Exemplos dos formulários propostos são disponibilizados no link <https://tinyurl.com/3nejn4uw>, mas é fundamental que o docente faça uma cópia e insira no material instrucional um arquivo que seja de sua propriedade.

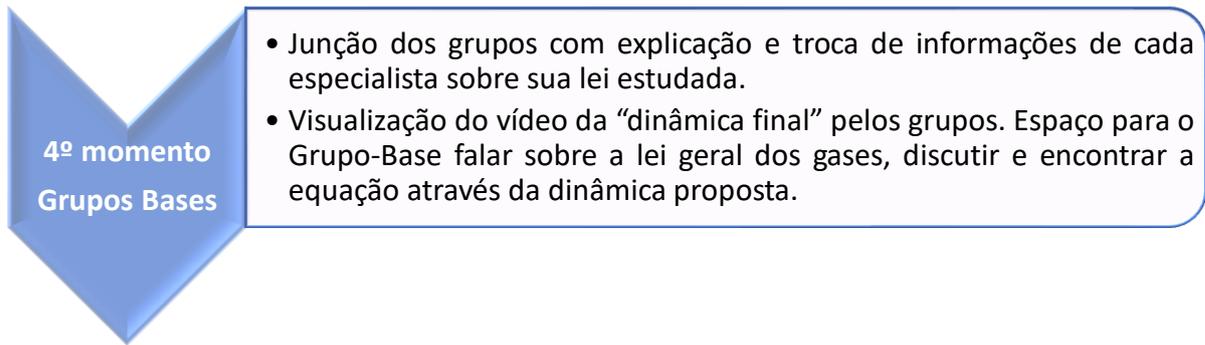
Além de acessar à atividade de assimilação, no material instrucional é proposto que se coloque um link para uma tabela com os grupos-base. Contudo, esse link pode ser disponibilizado também durante o 4º momento *online* (5º passo), para aumentar a possibilidade de ajustes devido a ausências no segundo encontro síncrono, como mostra a figura 14.

Figura 14: Imagem da página 11 do PDF interativo, referente ao 4º momento da sequência didática (5º passo)



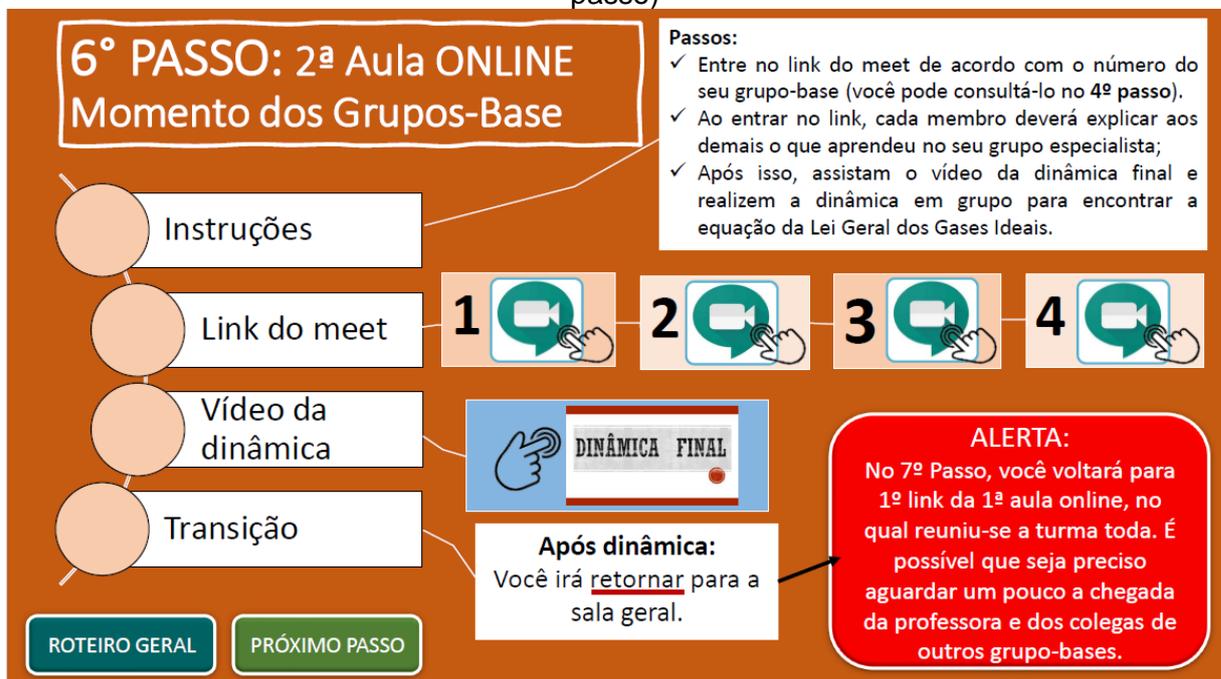
Fonte: Elaboração própria (2021).

Neste momento, o professor deve passar de grupo em grupo para sanar alguma dúvida e observar o que estão discutindo sobre o tema. Após isso, deve orientar para que eles acessem o seu grupo-base, no 6º passo do material instrucional, para construção coletiva da Lei Geral dos Gases Ideais.



Para chegar aos grupos-bases, os estudantes devem acessar o 6º passo do PDF interativo, na 12ª página, que deve conter *links* para salas virtuais dedicadas a cada grupo-base, o *link* do *YouTube* com o vídeo explicativo sobre a dinâmica final a ser realizada no grupo-base (<https://youtu.be/f0Jyb6TPpFk>) e algumas instruções, como mostra a figura 15.

Figura 15: Imagem 12 do PDF interativo, referente ao 4º momento da sequência didática (6º passo)



Fonte: Elaboração própria (2021).

No grupo-base, deve-se orientar os estudantes a começarem a atividade com cada integrante apresentando o que conteúdo aprendido na vivência experimental nos grupos de especialista. Em seguida, os estudantes deverão estudar sobre a Lei Geral do Gases Ideais a partir da realização, e posterior discussão, de uma dinâmica para formar a equação geral, com a junção das informações de cada estudo específico. Durante esse momento, o professor deve realizar visitas em cada grupo para observar

como estão se organizando, se todos estão participando e para sanar possíveis dúvidas. Após alcançarem uma versão da Lei Geral dos Gases, os estudantes seguirão para o 7º passo do PDF interativo.

4º momento
Geral da turma

- Fechamento do conteúdo Lei Geral dos Gases Ideais pela professora relacionando-o com a Física Solar.
- Conclusão da sequência com um debate entre estudantes e professora.

Na página 13 do PDF interativo, referente ao 7º passo, os estudantes devem fazer a transição e retornar para a turma geral para finalização do conteúdo e explicação da sua relação com o Sol, como mostra a figura 16. Nesta página, os estudantes encontrarão algumas instruções, além de ter novamente o *link* da sala geral. Para este momento, propõe-se uma roda de conversa para que todos possam sanar as dúvidas ainda restantes. Contudo, como opção alternativa, ou para auxiliar o docente na condução da roda de conversa, foi criado um vídeo de fechamento, que pode ser acessado através do *link* <https://youtu.be/eBLCwyQrPu8>.

Figura 16: Imagem da página 13 do PDF interativo, referente ao 4º momento da sequência

Fonte: Elaboração própria (2021)

5º momento
Off-line

- Responder formulários finais de assimilação e avaliação da sequência didática individualmente.

O 5º momento, e último, referente ao 8º Passo, acontece *off-line* após o segundo encontro síncrono e consiste em dois formulários, como mostra a figura 17. Um exemplo de formulário com questões sobre a sequência didática aplicada como forma de avaliação da experiência pedagógica proporcionada está disponível em (<https://tinyurl.com/2p9zc3nd>). Novamente, é fundamental que os links inseridos no material instrucional sejam cópias destes formulários, sob gestão do docente da turma e dedicado à aplicação em questão.

Figura 17: Imagem da página 14 do PDF interativo, referente ao 5º momento da sequência

Fonte: Elaboração própria (2021).

Aplicações do produto

A primeira aplicação aconteceu em uma escola de ensino particular no estado de Sergipe, sendo que o primeiro momento da aplicação ocorreu no dia 14 de abril e o segundo momento no dia 19 de abril de 2021. Cada momento foi composto por 2

aulas de 50 minutos cada, totalizando em 4 aulas de 50 minutos para aplicação total do produto desenvolvido de forma *on-line*. Mas, além disso, houve momentos *off-line* para preenchimento de formulários e visualização de vídeos tutoriais.

Posteriormente, em outubro de 2022, ele foi aplicado de forma adaptada em 4 turmas de 2º Ano do Ensino Médio, no Centro de Excelência do Estado de Sergipe de forma presencial, utilizando o laboratório de informática da unidade de ensino pública. A aplicação do produto permitiu perceber que os estudantes ficaram mais envolvidos com o processo de ensino aprendizagem por meio da visualização das simulações do PhET, o que resultou em maiores interações e curiosidade em entender como a Física explica os gases presentes no Sol.

Dessa forma, os estudantes apresentaram mais facilidade de compreensão do assunto ao observarem e manipularem as simulações, do que quando normalmente é ministrada uma aula sem a presença delas, mostrando assim que o uso do APLET trouxe resultados positivos no que diz respeito ao estudo da Termodinâmica. Os estudantes ainda expressaram como é interessante e atrativo leva-los a estudar através de aplicativos, assim como trazer a astronomia para complementar os estudos. As atividades propostas sobre o assunto nas aulas seguintes, comprovaram que de fato, ocorreu a aprendizagem sobre a termodinâmica. Após a aplicação presencial em 2022, os resultados das avaliações e simulados envolvendo o assunto de termodinâmica obteve melhores notas comparado as turmas que não usaram o PhET.

De acordo com Leal, Silva e Meneses (2020), isso é possível porque a visualização de simulações do PhET envolve os estudantes de maneira mais profunda e eficaz, proporcionando assim uma motivação inerente. Isso é particularmente benéfico em áreas de ciência e matemática, onde conceitos complexos podem se tornar mais acessíveis e compreensíveis por meio da experimentação prática e da visualização. No entanto, durante o processo de desenvolvimento e análise, foram surgindo novas ideias para melhoria do produto educacional em futuras aplicações, o que resultará em mais interação e praticidade para os docentes, bem como, chegará em melhores resultados.

Algumas sugestões que podem ser deixadas são, por exemplo, que a divisão dos grupos-base seja feita pelo professor durante a segunda aula *on-line* (durante o 5º Passo), ao invés de entre aulas (no 4º Passo). Com isso, é possível evitar que algum grupo fique incompleto como ocorreu na aplicação, pois o agrupamento é feito

com base nos estudantes presentes na aula. Uma dica é que, dependendo da quantidade de estudantes, pode haver menos grupos-base do que de grupos especialistas para que tenha, no mínimo, um participante de cada grupo especialista no grupo-base. Assim, com a possibilidade de agrupamento em um menor número de grupos, é mais tranquilo lidar com possíveis ausências.

A construção de um número menor de grupos-base poderá levar a presença de mais de um especialista num mesmo grupo base. Isso não é o ideal, já que pode gerar uma situação de participação pouco ativa de algum especialista, mas é uma situação que pode ser contornada com uma orientação para que os especialistas de um mesmo grupo apresentem o conteúdo juntos, de forma cooperativa. Assim, pode-se dizer que o número de especialista no grupo-base é de, no mínimo, um, pois a completude das informações depende da presença de especialistas de todos os grupos específicos, e que se deve evitar muitos especialistas de mesmo tipo em um mesmo grupo-base, para que todos os integrantes tenham possibilidade de participação ativa.

Considerações Finais

A forma como se aplica em sala de aula o conteúdo pode facilitar a compreensão dos estudantes. Com o objetivo de apresentar o conteúdo de Termodinâmica de maneira dinâmica, relacionando-o com os gases presentes no Sol, nesta proposta foi utilizado o simulador do PhET e o método de cooperação de grupos Jigsaw. Por meio da dinâmica aplicada, foi possível notar que os estudantes conseguiram compreender a relação do Sol com a Termodinâmica; como uma parte da estrela Solar é formada por gases ideais; e a relação entre as grandezas de pressão, volume e temperatura.

Foi possível notar que os estudantes compreenderam com mais facilidade o assunto proposto após simularem no PhET, como também que as atividades e avaliações propostas posteriormente em sala de aula obtiveram melhores resultados. Além disso, foi obtido um bom *feedback* dos estudantes, a maioria afirmou gostar do método e da metodologia aplicada, da dinâmica de grupos e do uso do simulador do PhET, tendo uma boa aprovação. A partir das impressões coletadas pelos estudantes, foi possível fazer ajustes nas tabelas para deixar mais clara a sua compreensão e preenchimento nas futuras aplicações.

No momento de encontro dos grupos-base, os estudantes tiveram uma ótima interação e conseguiram de forma objetiva explicar e entender as leis trabalhadas nos grupos especialistas. Assim como, foi satisfatório observar que todos os grupos conseguiram encontrar, através da dinâmica da proporcionalidade, a equação da Lei Geral dos Gases Ideais.

Diante disso, foi perceptível que a sequência didática favoreceu uma aprendizagem inovadora e dinâmica aos estudantes com os objetivos alcançados de forma satisfatória diante da perspectiva do ensino remoto e do uso do simulador, tendo, como pontos positivos, o retorno obtido pelos estudantes e o cumprimento de todas os momentos pré-estabelecidos, além de bons resultados nas atividades e avaliações. Já como pontos negativos, a dificuldade inicial de alguns estudantes com as planilhas eletrônicas, o que foi reajustado pelos próprios com o trabalho em grupo.

Além disso, o uso do PDF interativo facilitou a troca de informações e a entrega de materiais para os estudantes, sendo facilmente compreendido por todos e agilizando a aplicação. O desenvolvimento da sequência nos proporcionou ainda uma reflexão acerca do avanço das práticas educacionais, e como elas podem ser cada dia mais dinâmicas e interativas, independentemente se o sistema educacional é presencial, remoto ou híbrido, com a utilização de novas metodologias, das novas tecnologias digitais e de APPLETS, que fazem significativa diferença nos processos de ensino-aprendizagem.

Referências

ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. Objetos de Aprendizagem no Ensino de Física: Usando Simulações do PhET. **Revista Física na Escola**, v. 11, n. 1, 2010.

ATKINS, P. W.; PAULA, J. d. **Físico-Química**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 8ª ed. 2008.

CAMEL, T. d.; FILGUEIRAS, C. A. importância da lei de Gay-Lussac para a classificação dos compostos orgânicos. **Quím. Nova, São Paulo**, 738-747, 2013.

CASTELLAN, G. W. **Fundamentos de físico-química**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CHOWN, M. **Sistema solar**: uma exploração visual dos planetas, das luas e de outros corpos celestes que orbitam nosso sol. São Paulo: Editora Blucher, 2014.

COCHITO, M. I. **Cooperação e aprendizagem**: educação intercultural. Lisboa: ACIME, 2004.

DARROZ, L. M., *et al.* Concepções de um grupo de professores de anos. **Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias**, 240-255, 2016.

DAS, A.; FERBEL, T. **Introduction to Nuclear and Particle Physics**. New Jersey: World Scientific, 2003.

FATARELI, E. F., *et al.* Método cooperativo de aprendizagem Jigsaw no ensino de cinética química. **Química nova na escola**. v. 32, N° 3, Ago. 2010.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., & WALKER, J. **Fundamentos da Física**: Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

LANGHI, R. Educação em Astronomia: da revisão bibliográfica sobre. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 2: p. 373-399, ago. 2011.

LEAL, M. M.; SILVA, A. T. S.; MENESES, L. S. A utilização do simulador PhET como ferramenta de ensino nas aulas on-line de ciências em uma escola do município de Água Branca - PI. **Anais: VII Congresso Nacional de Educação- CONEDU**, 2020.

MACIEL, W. J. Introdução à Estrutura e Evolução Estelar. *Edusp*, 1999.

MAGALHÃES, W. F.; FERNANDES, N. G.; FERREIRA, A. C. **Termodinâmica do equilíbrio**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

MEDEIROS, L. I. As contribuições de Robert Boyle à química face a uma visão interdisciplinar com a geografia. **Holos**. maio de 2005.

MEDEIROS, A. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. **Rev. Bras. Ensino Fís.** v.24. n.2, jun. 2002.

NETZ, P. A.; ORTEGA, G. G. **Fundamentos de Físico-Química**: uma abordagem conceitual para as ciências farmacêuticas. Porto Alegre: Artmed, 2002.

SANTOS, J. P. **Aprendizagem cooperativa**: estudando conceitos físicos de cor e espectro através da astronomia. 2018. Produto Educacional (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal de Sergipe, 2018.

SARAIVA, M. F.; OLIVEIRA FILHO, K. S.; MULLER, A. M. Sol – A nossa estrela. **Slide para aula**. 2014.

SIQUEIRA, R. B. **Análise contextualizada do ensino da termodinâmica**. Monografia para curso de licenciatura em Física. Universidade Federal do Ceará, 2013.

VIDAL JÚNIOR, E. P. **O ensino de Astronomia no Ensino Médio**: uma proposta de oficina de apoio ao professor. Fortaleza. Monografia (graduação) – Universidade Estadual do Ceará, 2010.