

Priscila Stievm

**UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DO MODELO DO GÁS IDEAL EM TURMAS DE SEGUNDO ANO
DO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Curso de Graduação em Física da
Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Licenciado
em Física Orientador: Prof. Dr. Paulo José Sena dos Santos

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Stievem, Priscila

Uma proposta para o ensino do modelo do gás ideal em turmas de segundo ano do ensino médio / Priscila Stievem ; orientador, Paulo José Sena dos Santos - Florianópolis, SC, 2016.

74 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Graduação em Física.

Inclui referências

1. Física. 2. Modelagem. 3. Simulação computacional. 4. Ensino médio. I. Sena dos Santos, Paulo José. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Física. III. Título.

Priscila Stievm

**UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DO MODELO DO GÁS IDEAL EM TURMAS DE SEGUNDO ANO
DO ENSINO MÉDIO**

Este trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Licenciado em Física, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Física.

Florianópolis, 29 de Fevereiro de 2016.

Prof. Celso Yuji Matuo, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Paulo José Sena dos Santos, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. José Francisco Custódio Filho, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Lucas Nicolao, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais e aos meus professores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família que sempre me apoiou e incentivou a nunca parar de estudar, mas principalmente aos meus pais, Sadi e Dilva Maria Stievm, pelo amor, compreensão, confiança nos momentos difíceis, pelo exemplo de dedicação e pelos sacrifícios realizados para que tudo isto se tornasse possível. Ao meu irmão Maiko Stievm por todos os conselhos que contribuíram para que eu estivesse onde estou hoje. Ao meu amor, Luiz Augusto Reis da Silva, por estar sempre ao meu lado, pela compreensão e pela amizade.

A todos os mestres que participaram da minha formação acadêmica, a quem devo todo o meu conhecimento científico. Em especial ao professor Dr. Paulo José Sena dos Santos, cuja contribuição foi essencial para a execução deste trabalho. Ao professor Dr. José Francisco Custódio Filho e ao professor Dr. Lucas Nicolao, que aceitaram participar da banca examinadora, pelas sugestões e críticas que contribuíram na composição da versão final do trabalho.

A professora Sandra Madalena Pereira Franke, e a todos os membros do Colégio de Aplicação da UFSC envolvidos na execução do projeto, pela oportunidade de aplicação do trabalho. Em especial, a professora, por toda a ajuda e parecer que foram de grande valia para a execução do projeto.

Aos meus amigos e colegas de faculdade que fizeram parte deste período da minha vida tornando-o inesquecível.

Também agradeço a mim, por acreditar e persistir nos meus sonhos.

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção.”
(Paulo Freire)

RESUMO

Neste trabalho, é apresentada a aplicação de uma sequência didática proposta a partir das etapas de modelização propostas por Hestenes (1987). A metodologia utilizada tem como objetivo promover uma concepção de ciência mais coerente com a realidade, percebendo o fazer ciência como uma atividade tipicamente humana, entendendo o conhecimento científico como algo em constante revisão, através da qual os cientistas buscam construir representações dos fenômenos físicos. Mostra a possibilidade do uso do simulador na dificuldade de realização de um experimento que não seria passível de reprodução no laboratório da escola. Apesar de a sequência didática ter sido aplicada em quatro turmas do segundo ano do ensino médio de uma escola pública federal serão analisadas as respostas dos estudantes de uma das turmas em duas questões. Os resultados mostram que mais da metade dos alunos conseguiram responder satisfatoriamente a questão relacionada a construção do modelo do gás ideal, mas apresentam muitas dificuldades para aplicar a modelização em novos contextos.

Palavras chaves: Modelagem. Simulação computacional. Ensino médio.

ABSTRACT

This work presents the application of a proposed didactic sequence from the steps of modeling proposed by Hestenes (1987). The methodology aims to promote a more coherent science conception to reality, realizing that making science is a typical human activity, understanding the scientific knowledge as something in constant revision, through which scientists seek to build representations of a physical phenomena. This shows the possibility of using the simulator the difficulty of conducting an experiment that would not be reproducible in the school laboratory. Although the teaching sequence has been applied in four classes of the second year in high school from a public school, student responses to one of the classes will be analyzed on two issues. The results show that more than half of the students were able to satisfactorily answer the question regarding the construction of the ideal gas model, but they have many difficulties to apply modeling in new contexts.

Keywords: Modeling. Computer Simulation. High school.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fotografia da representação da molécula

38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Relação entre as semanas de aplicação e as etapas da sequência abordadas

33

SUMÁRIO

1INTRODUÇÃO	21
2REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1 Conhecimento científico - O Modelo e as etapas de modelagem	24
2.2 O uso de simulação no processo de modelização	26
3SEQUÊNCIA PROPOSTA	28
3.1 Primeira Etapa – Conhecendo o objeto de estudo	28
3.2 Segunda etapa – Algumas considerações e a construção do modelo	30
3.3Terceira etapa - Descrição do Modelo	31
3.4 Quarta Etapa – Formulação do Modelo	31
3.4.1 Conhecendo a simulação	31
3.5 Quinta etapa – Discussão das atividades e aplicação da equação	32
3.6 Sexta etapa- Revisão e Aplicação da Avaliação	32
4 DESCRIÇÃO DAS AULAS	33
4.1Primeira semana	33
4.2 Segunda semana	37
4.3Terceira semana	43
4.4 Quarta semana	43
4.5 Quinta semana	46
5 METODOLOGIA	47
6ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
6.1 Resultados referente a primeira questão	49
6.1.1Sobre o papel das questões norteadoras	49
6.1.2 Sobre as idealizações	50
6.1.3 Sobre os limites de validade de um modelo	51
6.1.4 Sobre a importância dos modelos na física	51
6.1.5 Sobre o papel da simulação utilizada	52
6.1.6 Sobre a modelização	52
6.1.7 Sobre as etapas do processo	52
6.2Resultados referentes a segunda questão	53
7CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
8 REFERÊNCIAS	59
ANEXO A	61
ANEXO B	74

INTRODUÇÃO

Muitas vezes a Física representa para os estudantes uma disciplina muito difícil em que são utilizadas equações cuja origem e finalidade são desconhecidas (VEIT e TEODORO, 2002). Esse fato pode ser o resultado de uma abordagem onde são utilizadas diversas representações matemáticas sem o conhecimento de seu significado ou seus limites de validade. Deste modo, a visão construída é a de uma ciência distante do cotidiano, que não pode ser aplicada na resolução de problemas reais.

A disciplina de Física faz parte da área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, logo se entende que na Física “A aprendizagem de concepções científicas atualizadas do mundo físico e natural e o desenvolvimento de estratégias de trabalho centradas na solução de problemas é finalidade da área, de forma a aproximar o educando do trabalho de investigação científica e tecnológica...” (BRASIL, 1999). Como podemos aproximar o educando do trabalho de investigação científica em Física e Matemática sem trabalhar com modelos?

A solução completa para um problema baseia-se no uso, ou no desenvolvimento de modelos. Já no caso de problemas específicos, segundo Hestenes (1987), a solução resulta de ramificações de modelos. Entretanto, para muitos alunos a solução de um problema é considerada apenas como o a aplicação de valores numéricos em fórmulas.

Pode-se ainda destacar nos princípios norteadores gerais estabelecidos pelas Diretrizes Curriculares para o Ensino Médio, presentes na Câmara de Ensino Básico do Conselho Nacional de Educação (CNE) (BRASIL, 1998) a produção de um conhecimento que é efetivo, não somente propedêutico. Este conhecimento deve levar ao desenvolvimento de competências e habilidades específicas para cada disciplina. Algumas delas a serem desenvolvidas na disciplina de física, e que são esperadas pelos PCNEM no conhecimento em Física são:

- Compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos;
- Utilizar e compreender tabelas, gráficos e relações matemáticas gráficas para a expressão do saber físico. Ser capaz de discriminar e traduzir as linguagens matemática e discursiva entre si;
- Expressar-se corretamente utilizando a linguagem física adequada e elementos de sua representação simbólica. Apresentar de forma clara e objetiva o conhecimento apreendido, através de tal linguagem;
- Elaborar sínteses ou esquemas estruturados dos temas físicos trabalhados;
- Desenvolver a capacidade de investigação física. Classificar, organizar, sistematizar. Identificar regularidades. Observar, estimar ordens de grandeza, compreender o conceito de medir, fazer hipóteses, testar;
- Conhecer e utilizar conceitos físicos. Relacionar grandezas, quantificar, identificar parâmetros relevantes. Compreender e utilizar leis e teorias físicas;
- Construir e investigar situações-problema, identificar a situação física, utilizar modelos físicos, generalizar de uma a outra situação, prever, avaliar, analisar previsões.

As competências citadas acima, tanto às linguagens específicas da Física, derivadas de modelagens do mundo macroscópico ou microscópico, como outras linguagens que a física faz uso, como por exemplo, a matemática, como exposto por Menezes (2000), passam a fazer parte dos objetivos formativos do aprendizado da disciplina de física, não são apenas pré-requisitos que se espera que o aluno já tenha adquirido em outra disciplina ou em outra circunstância. Mas será que estas habilidades específicas são desenvolvidas em uma abordagem tradicional? Nota-se que não, já pela forma com que os alunos veem a física. Não sabem o conceito de modelo, muitas vezes nem ouviram falar do termo mesmo fazendo uso deles. Já no uso da modelagem no processo de ensino aprendizagem, há diversas destas competências e habilidades citadas acima que seriam diretamente beneficiadas, um conjunto complexo de habilidades cognitivas para a criação e uso de modelos, especialmente se, para tanto, se utilizar uma ferramenta computacional (VEIT & TEODORO, 2002).

Na busca por uma aprendizagem mais significativa, projetada para ajudar os alunos a aprenderem de uma maneira mais eficiente, há diversos trabalhos que utilizam a modelização no estudo dos gases ideais, tal como o de Balen & Netz (2005) e de Costa & Passerino (2008).

Balen & Netz (2005) realizaram um estudo com alunos matriculados em cursos universitários das áreas de Ciência e Tecnologia, com o objetivo de verificar se o uso da ferramenta de modelagem e simulação computacional, software Modellus, permite uma aprendizagem significativa dos modelos dos gases ideais e reais. O que se obteve com os resultados foi uma grande diferença na compreensão dos conceitos nos grupos onde foram aplicadas as atividades de modelagem. As notas obtidas no pós-teste dos grupos onde foi realizada a aplicação obtiveram um aumento de 34,3% na média, com relação ao pré-teste, isto é 26,8% a mais que a média dos alunos no pós-teste onde não foram aplicadas as atividades de modelagem no estudo dos gases.

Costa & Passerino (2008), assim como no trabalho anterior, também pretendeu examinar a contribuição do uso da modelagem computacional utilizando o programa Modellus em turmas do nível superior, neste caso do curso

de licenciatura em química. Os resultados também indicaram uma melhora na compreensão dos conceitos e das representações matemáticas dos modelos dos gases ideais e reais, já que 85% dos alunos tiveram seu desempenho melhorado após essa aula.

Há também trabalhos que aplicam a modelização utilizando o mesmo Software citado acima, o Modellus, em turmas do ensino médio, como é o caso de Santos (2014). Ele desenvolve em duas turmas do primeiro ano a modelização para o estudo da queda de corpos e utiliza, assim como este trabalho, a instrução a modelagem proposta por Hestenes (1987). Embora os resultados indiquem diversas dificuldades às avaliações permitiram verificar que a maior parte dos estudantes correspondeu às expectativas, além do que em 33,3% das avaliações analisadas aparecem elementos que denotam algum aumento na motivação dos alunos para com o estudo da física.

Já neste trabalho buscou-se utilizar a mesma instrução citada acima, a proposta por Hestenes (1987), mas com a utilização de uma simulação na aplicação de uma sequência didática para o desenvolvimento do modelo dos gases ideais aplicada em quatro turmas do segundo ano do ensino médio. A sequência constituiu-se de seis etapas: conhecendo o objeto de estudo, algumas considerações e a construção do modelo, descrição do modelo, formulação do modelo utilizando uma simulação computacional, discussão das atividades e aplicação da equação em exercícios tradicionais, revisão e aplicação da avaliação. Nos próximos capítulos será apresentada uma breve descrição da instrução a modelagem proposta por Hestenes, a sequência didática proposta, uma descrição da aplicação, a metodologia, além de alguns resultados e sugestões para futuras aplicações. Objetiva-se com este trabalho verificar o aprendizado dos alunos com a utilização dessa nova abordagem, buscando identificar o entendimento das etapas de modelização de Hestenes e se conseguiriam utilizar a modelização para solucionar outros problemas. Para isso fez-se uso do modelo do gás ideal.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Na elaboração da sequência didática são utilizados os estudos dos processos de modelagem no contexto do ensino de física apresentados por Hestenes (1987, 1995, 1996, 2006). A escolha deste referencial é justificada pelo fato de sua aplicação em diversos trabalhos, tanto em nível superior em Brewe (2008), Heidemann, Araújo e Veit (2012), quanto em nível médio, no trabalho de Santos (2014).

Hestenes (1987) apresenta a instrução à modelagem voltada aos professores de ensino superior, que geralmente não avaliam suas práticas de ensino com os mesmos padrões críticos que eles aplicam na pesquisa científica, reproduzindo muitas vezes a maneira como a física lhes foi ensinada em sala de aula, e obtendo como resultado alunos com dificuldades amplamente mapeadas na literatura.

Em sua pesquisa ele refere-se ao uso da modelização no ensino superior, mas podemos perceber que a situação acima não é muito diferente do que acontece no ensino médio, já que a maioria destes alunos ao se tornarem professores utilizarão em suas aulas a mesma abordagem.

Apesar das deficiências do ensino tradicional existem alunos que conseguem aprender. Porém a questão não está em quem consegue aprender, mas se a abordagem pode ser desenvolvida de forma a auxiliar a maior parte dos estudantes a aprender a interpretar os fenômenos e utilizar as diversas representações em vários contextos. Deste modo a visão de Hestenes não era de condenar o ensino mais tradicional, mas de verificar como ele pode ser melhorado. Para isso, a teoria de instrução deve responder a duas perguntas: Quais são os assuntos fundamentais a serem ensinados? E como estes assuntos podem ser ensinados de maneira mais eficaz?

A escolha de adotar a modelagem como metodologia se deve a importância que este processo tem para a construção do conhecimento científico, além de desenvolver nos alunos competências e habilidades próprias desta ciência (HESTENES, 1987). A física representa os fenômenos através de modelos desenvolvidos pelos cientistas, eles são diferentes dos fenômenos que representam, mas com os modelos podemos prever alguns comportamentos. Defende-se o uso da modelagem na instrução, pois ela foi projetada para ajudar os alunos a desenvolver alguns aspectos do conhecimento com alguma semelhança aos desenvolvidos pelos cientistas praticantes nos seus processos de criação dos modelos científicos (BREWE, 2008).

Mas deve-se levar em conta que um cientista utiliza modelos de maneira diferente ao utilizado no ensino. O cientista tem uma base de conhecimento muito maior do que o aluno. Na abordagem proposta por Hestenes (1987, 1995, 1996, 2006) o aluno é “conduzido” até certo modelo, diferente do cientista que tem um bom suporte teórico, tem experiência, conhecimento das correntes antagônicas, construindo os modelos físicos com autonomia. Em geral, essa abordagem pode ensinar aos alunos como olhar para um fenômeno, como fazer perguntas pertinentes e entender o papel dos modelos na construção do conhecimento. Além disso, as habilidades desenvolvidas neste processo podem ser transferidas para outras disciplinas.

Para que os alunos comecem a ver a ciência como um processo de representação do mundo, e o conhecimento científico como um trabalho que está em constante desenvolvimento (BREWE, 2008; VEIT & TEODORO, 2002), o uso da modelização como estratégia de ensino e aprendizagem deve ser cuidadosamente planejada. Como isso pode ser feito? As atividades desenvolvidas devem permitir aos alunos a feitura de questões com as possíveis hipóteses de resposta, a realização de experimentos – o que pode levar a realização de novas perguntas, o uso de diferentes representações (gráficos, equações, entre outros).

Nesse processo o professor deve atentar para uma mudança, pois ele deixa de ser o “detentor do conhecimento” para tornar-se um orientador. O que também pode acarretar resistências por parte dos alunos que estão acostumados com estratégias mais expositivas.

Segundo Brewe (2008) os estudantes que passaram pelo processo de modelização mostram uma maior aprendizagem sobre conceitos do que alunos em curso tradicional, já que os alunos têm concepções sobre o mundo físico que interferem no aprendizado e compreensão do assunto. A abordagem convencional não é eficiente para corrigi-los, além de provocar equívocos sobre a física, como o uso repetitivo de problemas com ênfase no uso de formulas, fazendo o aluno ver a física como base de dados, onde se deve aprender a relacionar equações com problemas (BREWE, 2008).

Hestenes (1987) afirma que uma abordagem com ênfase na modelização tem como principal objetivo o desenvolvimento de habilidades que levem os alunos a confeccionar e usar modelos possibilitando-o a entender o mundo físico, dando sentido a sua própria experiência física, e avaliar informações relatadas por outros. Sob o enfoque cognitivo, também se pode encontrar razões para defender a modelização no ensino de Física. Ela contribui para o desenvolvimento cognitivo em geral, pois facilita a construção de relações e significados durante o seu processo. Isso se dá devido a algumas habilidades que o processo de elaboração dos modelos aplicado no ensino de física propicia (VEIT e TEODORO, 2002), como:

- Elevar o nível do processo cognitivo, exigindo que os estudantes pensem num nível mais elevado, generalizando conceitos e relações;
- Exigir que os estudantes definam suas ideias mais precisamente;
- Propiciar oportunidades para que os estudantes testem seus próprios modelos cognitivos, detectem e corrijam inconsistências.

Dessa forma, segundo Veit e Teodoro (2002), a “compreensão física” pode ser considerada como um conjunto complexo de habilidades de modelagem, também consideradas habilidades cognitivas, para criação e uso de modelos. Percebe-se que essa proposta de ensino se encaixa nos princípios norteadores gerais estabelecidos pelas Diretrizes Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 1997), destacando a produção de um conhecimento efetivo, não somente propedêutico, mas que leve aos alunos desenvolver competências e habilidades específicas, neste caso na disciplina de física. Com base nos resultados positivos de estudos que utilizaram também suas etapas, mas neste caso voltados respectivamente para um curso de mestrado profissional e para o ensino superior, Heidemann, Araújo e Veit (2012) e Brewe (2000), entre outros não mencionados, além da discussão sobre a importância e conexão com os parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio (PCNEM) apresentado por Veit e Teodoro (2002) e o trabalho de Santos (2014) onde as etapas foram aplicadas em turmas de primeiro ano do ensino médio, ela foi adotada aqui também pelo fato da literatura conter uma grandeza de detalhes que possibilitaram a sequência didática realizada.

2.1 Conhecimento científico - O Modelo e as etapas de modelagem

Segundo Hestenes (1987) o conhecimento científico pode ser classificado como factual e procedimental. O factual consiste em teorias, modelos e dados empíricos. Estes dados podem ser interpretados até certo ponto pelos modelos que estão de acordo com a teoria correspondente. Estas teorias se encaixam como factuais porque suas leis foram confirmadas não podendo ser consideradas hipotéticas. O conhecimento factual geralmente é apresentado em livros de ciência, mesmo que se mostre de maneira incompleta, na maior parte das vezes consiste em pouco mais do que o trivial a respeito do poder do método científico e observações sobre resolução de problemas. Já o conhecimento científico processual consiste em estratégias, táticas e técnicas para que se possa desenvolver, validar e utilizar esse conhecimento factual. A este sistema de conhecimento factual e processual se dá, para Hestenes, o nome de método científico.

Para que se possa ensinar de forma eficiente os procedimentos de ensino do conhecimento de ciências, precisamos de uma teoria para organizá-lo (HESTENES, 1987). Uma teoria científica pode ser considerada como um sistema de princípios do projeto para a modelagem de objetos reais, ou seja, o conceito de teoria pressupõe o conceito de modelo. Nesse sentido, a Física pode ser caracterizada como uma complexa rede de modelos interligados por um sistema de princípios teóricos (HESTENES, 1996). Isso nos leva a identificação de modelos de desenvolvimento e implantação assim como das principais atividades dos cientistas e, portanto, fornece a chave para uma teoria coerente destes procedimentos (HESTENES, 1987).

Frequentemente expresso de maneira informal entre cientistas, o termo modelo tem sido utilizado com os mais diversos significados na literatura de educação em ciência (KRAPAS et al., 1997; HESTENES, 2006). Krapas et al. (1997) elaboraram um conjunto de cinco categorias para o uso do termo modelo através da análise de 43 trabalhos. As categorias são:

- **Modelo pessoal:** também considerado um modelo mental já que os modelos expressos pelos indivíduos derivam diretamente de seus modelos mentais. É construído pelo indivíduo e pode ser expresso através da ação, fala, escrita, desenho;
- **Modelo consensual:** é construído rigorosamente e compartilhado por grupos sociais com o propósito de compreender e explicar ideias, objetos, eventos, processos ou sistemas;
- **Modelo pedagógico:** têm o propósito de promover a educação. Em geral, este modelo inclui os processos de transformação de conhecimento científico em conhecimento escolar. “No sentido estrito, modelo pedagógico se refere à representação simplificada de uma ideia, objeto, evento, processo ou sistema que se constitua em objeto de estudo, com o objetivo de facilitar a compreensão significativa, por parte dos alunos, destes mesmos objetos” (KRAPAS et al., 1997, pg.193);
- **Meta-modelo:** é um modelo construído e compartilhado por grupos sociais com o objetivo de compreender e explicar o processo de construção e funcionamento de modelos consensuais ou de modelos mentais;
- **Modelagem como objetivo educacional:** enfatiza a promoção da competência em construir modelos como foco central do ensino de ciências;

Segundo Hestenes (1987), um modelo, é um objeto substituto, uma representação conceitual de uma coisa real. Representam parcialmente a realidade, pois em seu processo de construção, chamado modelização, são realizadas simplificações, aproximações, idealizações. Então em todo modelo devem ser considerado suas limitações. Percebe-se que se trata de um modelo pedagógico, mas ele também tem a modelagem como objetivo educacional, pois os alunos podem adquirir no processo algumas das competências necessárias para a construção de um modelo, mesmo esta não sendo a única intenção. O foco da aplicação da modelização em sala de aula é facilitar o aprendizado dos modelos físicos por parte dos alunos. Portanto, a discussão do processo de modelização no ensino médio pode ajudar os alunos a não enxergarem a Física de uma maneira distorcida.

As propriedades físicas são representadas através de variáveis quantitativas, portanto os modelos construídos pelos físicos são matemáticos. Segundo Hestenes (1987) estes modelos têm como componentes:

- Nomes para o objeto e agentes que interagem com ele;
- Um conjunto de variáveis descritivas para representar as propriedades do objeto analisado, que podem ser de três tipos:
 - a) **Variáveis dos objetos:** são variáveis de valor real do objeto, elas possuem valores fixos para um objeto específico. Exemplo: massa, carga;
 - b) **Variáveis de estado:** representam propriedades intrínsecas dos objetos, mas podem variar com o tempo. Exemplo: Posição e velocidade, que são variáveis de estado de uma partícula;
 - c) **Variável de interação:** representam a interação de um objeto externo (chamado de agente) com o objeto que está sendo modelado. Ex: vetor força.
- As equações do modelo, que descreve a sua estrutura e evolução temporal;
- Uma interpretação relacionando as variáveis descritivas para as propriedades de um objeto que representa o modelo.

A modelização ou modelagem é o processo cognitivo de aplicar os princípios da estrutura de uma teoria para produzir o modelo de algum objeto ou processo físico, ou seja, é a estratégia para o desenvolvimento do modelo. Este processo deve favorecer não somente a aprendizagem de ferramentas matemáticas, por parte dos alunos, mas também outras ferramentas de representação, como as verbais e gráficas. Para o autor, o discurso e a capacidade de argumentação dos estudantes evoluem na medida em que eles adquirem domínio sobre esses instrumentos. Esse processo pode ser dividido em quatro etapas não hierárquicas (Hestenes, 1987):

Descrição

O principal resultado da etapa descritiva é um conjunto completo de nomes e variáveis descritivas para o modelo, ou seja, os três tipos de variáveis de caracterização: variáveis dos objetos, de estado e de interação, junto com suas interpretações físicas. Para fazer a descrição do objeto, deve-se escolher que tipo de modelo se quer fazer para determinado assunto. No caso do estudo dos gases pode-se utilizar o modelo dos gases ideais onde os constituintes são considerados puntiformes, ou o de Van der Waals que os considera como esferas impenetráveis, entre outros. Os princípios e técnicas de modelagem são diferentes para cada tipo de modelo. Nos dois modelos um exemplo de variável básica dos gases seria a massa destas partículas que o compõem, e as variáveis de estado dos gases para ambos os casos é a pressão o volume e a temperatura, sendo que a pressão e o volume terão um valor diferenciado para cada modelo.

Formulação

Na etapa de formulação do desenvolvimento do modelo, as leis físicas convenientes para determinado assunto são aplicadas para determinar equações definidas para o objeto de modelagem que permita estabelecer relações matemáticas descritivas e/ou preditivas entre as variáveis e quaisquer equações subsidiárias de restrição.

Ramificação

Na etapa de ramificação as propriedades especiais e implicações do modelo são trabalhadas. Como por exemplo, as equações de movimento, que são resolvidas para determinar as trajetórias com várias condições iniciais, uma ramificação desse modelo poderia descrever a evolução no tempo de algumas variáveis descritivas. As equações são resolvidas e os resultados representados graficamente e analiticamente para serem analisados. Já no estudo dos

gases, uma situação onde poderia se passar a considerar o volume das partículas, por exemplo, seria uma ramificação do modelo.

Validação

Está preocupada com a avaliação empírica do modelo ramificado, na pesquisa científica esta pode envolver um teste experimental elaborado, para avaliar a razoabilidade da validade dos resultados.

Deve-se ter conhecimento que para implementar de maneira bem sucedida a modelagem vai depender da habilidade do professor em sala de aula, que terá que ter clareza dos seus objetivos, mantendo um ambiente em que os alunos participem interagindo com o professor e com os colegas. A interação é importante porque o ensino de Física por meio da modelização parte do princípio de que os alunos aprendem de forma mais significativa a partir de atividades que os envolvam ativamente na construção e utilização de modelos e que os façam comunicar seus resultados aos colegas. Para otimizar a aprendizagem, essas atividades devem ser cuidadosamente planejadas e gerenciadas pelo professor e esse processo não ocorre em poucas aulas (HESTENES, 1996).

2.2 O uso de simulação no processo de modelização

Os computadores inovaram a tal ponto a investigação científica que “hoje a computação científica pode ser considerada como uma terceira metodologia da ciência, paralelamente aos paradigmas mais estabelecidos da ciência teórica e experimental” (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989). Apesar das novas tecnologias estarem sempre presentes no meio científico, muitas vezes não são utilizadas em sala de aula.

Antes da invenção do computador, era necessária grande capacidade de abstração para construir e explorar modelos matemáticos. Papert foi um dos primeiros autores a presumir que o computador poderia possibilitar que o conhecimento antes acessado apenas pelo processo formal fosse atingido pela sucessão de processos concretos, ajudando na transição concreto-formal do pensamento. Ele defende o seu uso como uma ferramenta para auxiliar na construção do conhecimento, devido ao grande papel que ele tem, possibilitando a concretização do formal, sem perder a ideia da relevância do abstrato na construção do conhecimento científico. Assim como Hebenstreit (1987) considera que uma das principais potencialidades do computador é permitir a construção de objetos “concreto-abstratos”: concretos porque podem ser diretamente manipulados no computador (alterando suas variáveis), abstratos porque são representações de ideias ou relações (modelos).

Araújo, Veit & Moreira (2004) afirmam que os trabalhos realizados com o intuito de avaliar o potencial das atividades baseadas em simulações computacionais (ASC) no ensino de Física têm atribuído algumas vantagens ao seu uso. Uma delas é a capacidade de proporcionar ao aluno interagir com um experimento virtual, assim as simulações podem vir a servir como substitutos de experimentos reais que não são utilizados por diversas razões, por exemplo, potencialmente perigosos, caros, ou que por algum motivo não podem ser reproduzidos em laboratório (MEDEIROS & MEDEIROS, 2002). Além disto, o computador pode emular o comportamento de fenômenos físicos com rapidez e facilidade impressionantes, dentro de certo grau de precisão e limite de validade da representação utilizada na simulação.

A diferenciação entre a simulação e o experimento deve estar clara para o aluno para que ele possa diferenciá-la de um experimento real, já que assim como as teorias científicas as simulações computacionais são desenvolvidas com base em modelos e nunca abarcam todas as características do sistema físico, são “recortes” da realidade, implementações computacionais de modelos específicos, desta forma desprezam diversos aspectos do sistema real a fim de focar sua atenção em certos aspectos particulares da natureza, facilitando assim a compreensão do fenômeno físico (Heidemann, Araújo & Veit, 2012). Ela possibilita também ao aluno obter múltiplas representações simultâneas de determinado fenômeno, facilitando a aprendizagem dos conteúdos e permitindo aos alunos explorarem as leis que descrevem seus estados.

Sobre o uso dos computadores na modelização, é natural que ele surja como uma ferramenta de modelagem, podendo ser utilizado de duas maneiras centradas em objetivos diferentes (HESTENES, 1994): para a construção e análise de modelos e para a validação dos modelos. Na primeira modalidade, o computador facilita o uso de representações que seriam improváveis sem eles. Já na segunda ele é utilizado para comparar as previsões dos modelos teóricos com dados empíricos. Percebe-se também que podem ser utilizados com o objetivo principal evidenciar as relações entre os modelos e a realidade, possibilitando assim, o desenvolvimento de um ensino de Física contextualizado que proporciona ao aluno a interação com uma natureza ideal, representação do objeto ou fenômeno escolhido no processo de modelagem.

Neste trabalho o computador foi utilizado para a construção do modelo dos gases ideais. Com a utilização da simulação Propriedades dos Gases, encontrada no site PHET Interactives Simulations, os alunos relacionaram as variáveis de estado: pressão, temperatura e volume, que já haviam sido definidas por eles. Além de observarem outros aspectos discutidos na primeira etapa de modelização de Hestenes, a descrição, como por exemplo, a relação entre a velocidade das partículas, sua energia cinética e a temperatura apontada pelo sistema. A atividade da simulação foi orientada por uma série de exercícios que possibilitaram toda uma linha de raciocínio até a formulação da equação dos gases ideais.

3 SEQUÊNCIA PROPOSTA

3.1 Primeira Etapa – Conhecendo o objeto de estudo

A aula pode começar com uma questão sobre o fenômeno de interesse. Como neste trabalho pretende-se discutir um modelo para o comportamento dos gases, uma questão possível seria: o que vocês podem dizer a respeito do comportamento do ar dentro desta sala? Esta questão tem como objetivo permitir que os alunos apresentassem hipóteses, que poderão ser anotadas no quadro. A discussão das mesmas deve seguir uma ordem definida pelo professor, de acordo com os conceitos que devem ser considerados. Caso os alunos não tenham muitas sugestões a respeito, ou não comentem alguns dos pontos considerados relevantes para essa discussão, estas devem ser sugeridas pelo professor, através de perguntas norteadoras, que podem intercalar ou não com a discussão das hipóteses levantadas.

Na sequência aplicada algumas das questões formuladas aos alunos foram:

a) Do que é composto o ar dentro desta sala?

Possivelmente os alunos saibam dizer que o ar é composto por uma mistura de gases como, por exemplo, oxigênio, nitrogênio e gás carbônico. Mas, talvez não saibam que além desses elementos muitos outros estão presentes, não se tratando de uma composição constante, podendo se modificar de acordo com condições como, incêndios florestais, erosão do solo pelo vento, cristais de sal marinho disperso pelas ondas que se quebram, emissões vulcânicas e de atividades agrícolas e industriais. Além disso, provavelmente não lembram com que proporção cada substância está presente na composição.

Sugere-se a construção no quadro de uma tabela com a fração molar dos componentes que compõem o ar, estando este limpo e seco. Ou seja, não será considerado vapor de água e aerossóis, a geometria molecular de cada elemento. Neste momento, também se pode analisar se os alunos sabem a diferença entre átomos e moléculas e se eles sabem que desses elementos que compõem a atmosfera terrestre muitos não se tratam de átomos isolados. Pode ser discutido o que leva os átomos a formarem as moléculas, comentando sobre a regra do octeto e o tipo de ligação que liga os átomos, além do conceito de nuvem eletrônica que muito possivelmente já tenham discutido nas aulas de química. É interessante relembrar a lei de Avogadro para o entendimento do mol como uma medida de quantidade de objetos. É importante que o aluno perceba a complexidade do ar, se tratando de uma mistura de gases com moléculas de diversas geometrias.

b) As moléculas de ar se encontram próximas umas das outras? Elas preenchem todo o volume desta sala? O ar ocupa todos os espaços desta sala?

É possível que os alunos digam que, por se tratar de um gás, as moléculas estão mais distantes umas das outras. Deve-se lembrar de que a distância média entre as moléculas vai depender das condições que o gás se encontra. Em Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP) a distância média entre elas é da ordem de 10^{-9} m, isto é, aproximadamente 10 vezes o diâmetro molecular. Ou seja, a uma distância muito maior do que estariam se estivéssemos falando de um líquido ou sólido, onde as moléculas estão respectivamente cada vez mais próximas. Pode ser comentado que este fato possibilita que o gás seja altamente compressível. Caso os alunos comentem sobre a força de ligação das partículas, teremos a possibilidade de relacioná-la com as dos líquidos e sólidos que vão respectivamente aumentando por estarem mais próximas, por isso vão assumindo uma forma cada vez mais específica aumentando sua resistência a deformações. Aproveitando esta diferenciação podemos justificar o fato de todos os gases possuírem o mesmo coeficiente de dilatação, $\gamma = \frac{1}{273}$. Pode-se então, a partir daí, ter uma noção de que as moléculas não preenchem todo o volume ocupado pelo gás. Além disso, por estarem longes umas das outras, o gás tem uma capacidade ilimitada de expansão, pois a energia de ligação entre elas é praticamente desprezível, ocupando todo o volume em que está contido. Caso eles não consigam chegar a esta conclusão pode-se sugerir como exemplo o frasco de perfume aberto, pois se percebe pelo cheiro do perfume, que quando ele evapora, espalha-se por toda a sala, isto poderá ajudá-los a pensar a respeito, no caso da sala de aula. Com essa pergunta espera-se que o aluno comece a compreender algumas das características do comportamento dos gases.

c) O ar dentro desta sala se encontra em equilíbrio térmico? Por quê?

Esta questão permite lembrar o conceito de equilíbrio térmico com os alunos e sugerir uma discussão de hipóteses sobre a temperatura do ar contido na sala. Objetiva-se que eles percebam que se o sistema não está isolado, fatores externos influenciam na temperatura do ar dentro da sala.

d) O que podemos dizer a respeito da massa desses átomos e moléculas? E no que isso interfere?

Espera-se que os alunos comentem que as moléculas e átomos possuem massas diferentes e a partir das respostas é proposta então uma discussão sobre a densidade do ar e das consequências de se ter partículas com diferentes massas no comportamento do sistema.

e) Estas moléculas e átomos colidem uns com os outros? O que acontece com eles quando colidem?

Inicialmente será discutido que devido ao movimento desordenado as partículas estão colidindo a todo o momento.

Sobre o que acontece quando eles colidem, termos como: serão arremessados, lançados por uma força, impulsionados por uma força mudando a direção e ou o sentido dessas partículas são esperados. Pretende-se aproveitar a situação para diferenciar os termos direção e sentido, que neste caso as partículas percorrem antes e depois da colisão. Deve-se discutir com os alunos que o gás é formado principalmente por N_2 e O_2 e que estes têm uma geometria linear que é semelhante ao formato de um Halter. Pode-se levar uma representação material simples de duas moléculas diatômica, composta de uma mola e duas esferas, para que colidam ajudando-os a visualizar o movimento. Pergunta-se o que acontece com as moléculas na colisão. Em seguida o que mais pode acontecer, além de mudar a direção e ou o sentido do movimento de translação. Continua-se com as perguntas até chegarem à vibração em torno de uma distancia média entre os átomos da molécula, que ocorre com ou sem colisão.

Uma vez que o ar é formado principalmente por moléculas de N_2 e O_2 , que tem geometria linear semelhante ao formato de um halter, as moléculas podem apresentar além do movimento de translação, os movimentos de rotação e vibração.

Pode ainda ser comentado com os alunos que para as moléculas poliatômicas, com mais de dois átomos, temos a possibilidade de rotação em torno de três eixos ortogonais e diversos modos de vibração.

Ao final desta discussão espera-se que os estudantes tenham uma noção do quanto irregular e complicada é a descrição do movimento das moléculas de um gás.

f) Esses átomos e moléculas, além de colidirem entre si colidem também com as paredes onde ele está contido? O que essa colisão pode causar?

Os alunos da segunda série do ensino médio já estudaram o conceito de pressão, espera-se que não haja dificuldades para comentários. Além do conceito de pressão, que caso necessário deve ser lembrado, deve-se comentar que como o número de colisões é muito grande, não se percebe o efeito do choque de cada partícula nas paredes, o que se observa é o efeito médio da frequente sucessão de colisões.

Será perguntado aos alunos como calcular, aproximadamente, a pressão exercida pelo ar nas paredes da sala, considerando que se trata de uma mistura de gases e que o sistema, ar dentro da sala, se encontra em equilíbrio térmico. Com isso discutir os fatores que podem alterar a pressão exercida sobre a parede. Pode-se usar como exemplo um jato horizontal de areia, com n grãos por segundo, que incide sobre uma parede verticalmente parada para fazermos simplificações que não alteram os resultados de forma significativa e tornam os cálculos possíveis para um sistema com n partículas diferentes. Será discutido como calcular a pressão aplicada nessa parede. Os cálculos da força média aplicada sobre a parede utilizando a definição de quantidade de movimento quando necessários foram utilizados.

g) Qual tipo de energia é associado ao movimento das partículas? Além da energia cinética, que outra grandeza pode ser utilizada para caracterizar o movimento das moléculas e átomos? Energia cinética total e a quantidade de movimento nas colisões entre as moléculas e com as paredes da sala se conserva?

Inicialmente será realizada uma breve recapitulação sobre os conceitos de energia cinética e quantidade de movimento e como calculamos a energia e momento linear de um corpo. Será discutido o cálculo da energia cinética e

da quantidade de movimento total de um sistema com muitas partículas, como o ar, e o significado da conservação da energia cinética e do momento total.

A discussão da conservação da energia durante essas colisões pode ser iniciada questionando se as partículas sofrem alguma deformação com as colisões, se elas ao colidirem esquentam, ou seja, sua temperatura aumenta gradativamente sem fazermos nenhuma alteração e se fazem algum barulho no momento da colisão, ou até mesmo se a pressão num gás vai diminuindo gradativamente com o tempo sem fazermos nenhuma alteração. O objetivo é que os alunos percebam que não há transformação aparente de energia cinética em outras energias então se pode considerar que a perda de energia cinética é tão pequena durante as colisões que não afetam os resultados, então podemos desconsiderá-las, chegando à conclusão de que a energia cinética se conserva. Pergunta-se para os alunos o nome dado para colisões onde há conservação de energia cinética. Caso algum aluno comente que as moléculas não chegam a se encostarem, pode-se comentar que elas não chegam a colidirem devido às cargas dos elétrons, as moléculas ao se aproximarem se repelem sendo espalhadas, mas este fenômeno é tratado como uma colisão por ser analisado pelas mesmas grandezas quanto à energia e quantidade de movimento.

Para discutir a conservação da quantidade de movimento, pode-se perguntar o que é necessário para variar a quantidade de movimento de um corpo. E no caso de um sistema de partículas, o que é necessário agora para variar a quantidade de movimento total do sistema, que eles já sabem ser a soma da quantidade de movimento de todas as partículas. Será pedido para que eles considerem que esse nosso sistema se encontra isolado, e sendo assim que discutam quais são as únicas forças que atuam sobre as partículas neste caso, esperando que concluam que as únicas forças que atuam sobre as partículas são as que ocorrem durante as colisões. A partir disso, será discutida a quantidade de movimento antes e depois da colisão de partículas em duas situações as duas com velocidades diferentes e com velocidades iguais.

Após a análise das situações pergunta-se se a quantidade de movimento total de um sistema onde não atuam forças externas se modifica com o tempo. A partir daí, deve-se discutir a relevância de estudar o que está acontecendo com as partículas no meio do gás. Então, pretende-se perguntar para os alunos quando a análise das colisões se tornam importantes para descrever o estado do gás. Como a energia cinética e a quantidade de movimento se conservam, não são boas variáveis para descrever o comportamento de um sistema, por se tratar também de muitas moléculas. Ao invés dessas variáveis pode-se utilizar a pressão e a temperatura para caracterizar esse sistema.

3.2 Segunda etapa – Algumas considerações e a construção do modelo

Na segunda etapa deve-se deixar claro para os alunos o conceito de modelo e nossos objetivos com as discussões anteriores. Utilizam-se as discussões para que se possam fazer as abstrações necessárias para o entendimento de certos aspectos do fenômeno e a partir delas construir um modelo para o comportamento desses gases. No nosso caso percebe-se que em determinadas condições os diferentes gases tem um comportamento muitíssimo parecido, deste modo pode-se criar uma classe geral de gás – o gás ideal, que descreve o comportamento de toda uma classe de sistemas.

Deve-se questionar acerca de quais fatores analisados são importantes para o estudo desses gases deixando claro para os alunos que devem focar, na construção desse modelo, apenas a elementos cujo tratamento não será muito complexo.

As abstrações que devem ser contempladas pelos alunos são:

- Que os gases estejam em equilíbrio térmico.
- Deve-se considerar que os gases são formados por partículas puntiformes.
- Os gases devem ter uma temperatura distante do seu ponto de liquefação, ou seja, altas temperaturas.
- Os gases devem estar no seu limite de rarefação extrema, baixas pressões.
- A ausência das forças de interações intermoleculares entre as partículas.
- As colisões entre as partículas e com as paredes onde o gás está contido sempre serão perfeitamente elásticas.

Para cada tópico deve-se discutir porque tais abstrações devem ser realizadas e qual a implicação delas. Para concluir essa etapa, definir esse modelo de gás como dito gás ideal ou perfeito.

3.3 Terceira etapa - Descrição do Modelo

Neste momento deve-se explicar aos alunos o conceito de modelização e as etapas de modelagem, iniciando a descrição do modelo de gases ideais.

O principal resultado do estado descritivo é um conjunto completo de nomes e variáveis descritivas para o modelo, junto com interpretações físicas para todas as variáveis. As variáveis de estado podem ser ou básica ou derivada. Variáveis básicas são definidas implicitamente por leis gerais da teoria, enquanto variáveis derivadas são definidas explicitamente em termos de variáveis básicas.

A descrição do objeto exige uma decisão do tipo de modelo a ser desenvolvido. Determinar a melhor escolha das variáveis de estado é um problema cuja solução depende do tipo de processo a ser modelado. O objetivo desta etapa é a identificação das variáveis termodinâmicas que caracterizam um sistema gasoso. Por se tratar de gases, possuem $6,0232 \times 10^{23}$ moléculas por mol, não é possível estudar o comportamento dos gases tratando de cada molécula separadamente. Então os alunos devem analisar com quais variáveis podemos descrever o comportamento de um gás, sem precisar analisar separadamente cada molécula, utilizando apenas variáveis macroscópicas.

Para que se possam definir bem as variáveis, caso ainda não tenha ficado claro, além de especificar as variáveis de estado, deve ser feita uma descrição do objeto estudado como um todo, pelo menos qualitativamente, e especificar os valores conhecidos das variáveis de estado.

Em uma descrição de interação cada agente que atua no objeto é identificado juntamente com o tipo de interação. Mas, como se considera o modelo do gás ideal como um sistema isolado, ele não sofre interação externa. Além disso, não se trata de um modelo microscópico, onde as variáveis de interação entre as partículas e o ambiente em que se encontram tornar-se-iam essenciais.

Esta é uma boa oportunidade para enfatizar aos alunos que cada modelo é apenas uma representação parcial de um objeto, por vezes, ignorando algumas propriedades. Neste caso, o modelo de partícula ignora o tamanho e forma das moléculas, por exemplo, que são propriedades depois tomadas em conta em um modelo mais completo.

3.4 Quarta Etapa – Formulação do Modelo

Na etapa de formulação do desenvolvimento do modelo, as leis físicas devem ser aplicadas para determinar equações definidas para o objeto modelo e quaisquer equações subsidiárias de restrição. Com o uso da simulação Propriedade dos Gases, retirada da página da web: PHET Interactive Simulations (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/gas-properties), que é uma forma de representação do modelo dos gases ideais, utiliza-se uma sequência de atividades proposta aos alunos (anexo A), deve-se a partir delas, analisar como as variáveis utilizadas para descrever um sistema termodinâmico de gases se relacionam e chegar à formulação matemática para representar o modelo dos gases ideais.

3.4.1 Conhecendo a simulação

Inicialmente mostra-se a simulação para os alunos. Deixam-se eles livres para que conheçam todas as suas potencialidades. Neste momento pode ser questionados aspectos sobre a precisão e limitação da simulação. Caso os alunos não comentem a respeito, alguns tópicos serão levantados pelo professor, como por exemplo, sobre a simulação modelar precisamente o comportamento da lei do gás ideal (que se aplica a sistemas 3D), mas a simulação é 2D. Então para valores em 3D, como volume, não se pode chegar a um valor numérico usando este modelo 2D, mas podemos utilizar uma escala em nanômetros para verificar o aumento da distância lateral entre as paredes, desta forma podemos estudar uma relação de variação do volume. Além de esta variação ser limitada pelo espaço que o recipiente tem para aumentar.

Os alunos devem ficar atentos, pois se muitas moléculas forem adicionadas no recipiente o programa pode ficar lento ou congelar. A quantidade de moléculas que pode ser utilizada dependerá do processador e memória do computador, além do que os números de partículas de Hélio selecionados pelos alunos ficavam diminuindo enquanto os alunos seguiam os procedimentos. Outro fator que pode ser mencionado é que as espécies pesadas são representações de um modelo de moléculas puntiformes de N_2 e as leves são hélio (He). O tamanho da partícula pesada é a escala (está em nanômetros), mas a leve não é. As velocidades das moléculas são mais realistas.

Pode ser pedido como atividade para os alunos, que simulem as condições normais de temperatura e pressão, para isso, além de manter a temperatura de 273,15 Kelvin terão que analisar quantas moléculas serão necessárias para o volume que dispõem para atingir a pressão de 1 atm, isso considerando que o ar é formado somente de moléculas diatômicas de nitrogênio. Logo perceberão que se começarem com cerca de 200 moléculas e nenhum dos parâmetros constantes, a pressão será de 1 atm a temperatura ambiente. Poderia ser perguntado aos alunos porque 200 moléculas,

em média, simula a pressão do ar na nossa atmosfera. Porque não pode ser mais ou menos? Isto com o objetivo de comentar que a relação entre a massa e o volume do ar para 200 moléculas se aproxima da densidade do ar, considerando este formado apenas por moléculas de nitrogênio.

Também pode ser comentado sobre o movimento das moléculas, que continuam vibrando mesmo a uma temperatura de zero Kelvin, na simulação, perguntando aos alunos se realmente se pode chegar ao zero absoluto e como eles explicariam isso. Pode-se pedir para que os alunos anotem outras limitações da simulação que eles percebam e ao final desta atividade estas sejam discutidas.

Depois disto, deve-se entregar aos alunos uma sequência de atividades que possibilite a eles observar alguns aspectos do comportamento dos gases, que foram comentados durante as aulas anteriores, e relacionar as variáveis de estado: pressão, temperatura e volume estudando o comportamento de cada uma destas quando atreladas a uma das outras, mantendo assim a terceira constante. Ao final espera-se que eles desenvolvam a equação para o modelo dos gases ideais. Grande parte das atividades sugeridas durante a sequência são adaptações das sugestões de Professores, encontradas no site do PHET, para utilização da simulação utilizada na sequência. As questões que analisam o comportamento de uma mistura de gases em diversas situações são adaptações das atividades de Chamberlain e Ulbrich (2013) e as que analisam as relações entre as variáveis de estado são adaptações das sugestões de Kwasny (2010). A lista de atividades voltadas à simulação que serão entregues aos alunos pode ser vistas no anexo A.

3.5 Quinta etapa – Discussão das atividades e aplicação da equação

Nesta etapa devem-se discutir os exercícios e conclusões que os alunos chegam e quais se esperava que chegassem, além das dificuldades que tiveram para obter os resultados e o motivo daqueles que por ventura não cheguem a obter. Deve-se apresentar a representação dos gases ideais e as unidades convencionalmente utilizadas para se obter a constante dos gases ideais. Neste momento serão apresentados alguns exemplos e sugestões de exercícios.

3.6 Sexta etapa- Revisão e Aplicação da Avaliação

Realiza-se uma revisão de todo o conteúdo abordado seguindo a mesma sequência em que as aulas foram apresentadas. Além disso, neste momento se devem discutir novamente a modelização, as etapas que foram trabalhadas, enfatizando seus objetivos gerais e mais detalhadamente para o desenvolvimento do modelo dos gases ideais. Além da importância dos modelos na física, o modelo desenvolvido dos gases ideais. Após a revisão realiza-se uma avaliação (anexo B) que estará de acordo com as aulas realizadas, abordando a modelização em geral, o desenvolvimento do modelo - gás ideal e exercícios tradicionais.

4 DESCRIÇÃO DAS AULAS

Será apresentada uma descrição do decorrer da sequência didática elaborada e ministrada pela autora do trabalho. Foi aplicada em quatro turmas do segundo ano de ensino médio de uma escola pública federal localizada na cidade de Florianópolis, todas com uma média de 25 alunos por sala. Nela estarão contidos alguns comentários referentes ao desenvolvimento das aulas.

A aplicação foi realizada durante o intervalo dos dias 22 de setembro a 27 de outubro de 2015, durante este intervalo ocorreram feriados e atividades extracurriculares, então a aplicação foi interrompida durante a semana do dia 12/10 a 17/10. As turmas contam com quatro aulas de física semanais, sendo que uma das turmas possui duas das aulas semanais de 40 minutos e uma das outras turmas uma das aulas de 40 minutos, as demais todas de 45 minutos. Isto devido à diferença no número de aulas diárias de cada dia.

A escola conta com uma boa infraestrutura, como data show em todas as salas, dois laboratórios de informática e um laboratório apenas para a disciplina de física. Além disso, grande parte dos alunos possuem computadores em casa. A maior parte dos estudantes desta escola não trabalha e tem a possibilidade de participar de cursos e monitorias oferecidas pela escola no contra turno.

Antes da aplicação da sequência didática as aulas do professor foram observadas durante um mês, para integração do pesquisador com os alunos, buscando os deixar confortáveis com a sua presença, favorecendo a participação destes alunos nas aulas que viriam a ser ministradas. É válido ressaltar que nas aulas anteriores a aplicação da proposta os alunos estudaram as leis da termodinâmica. A princípio foi estimado um tempo de 8 aulas para abordar toda a sequência, isto sem contar a avaliação. Acabou ocorrendo que toda a aplicação com a avaliação levaram 16 aulas. Esta extensão se deu pela necessidade de uma discussão mais aprofundada de alguns pontos devido a dúvidas manifestadas pelos alunos ou revisão de conceitos para o desenvolvimento da primeira etapa descritiva. Houve também a necessidade de um acompanhamento maior das atividades que envolviam o uso da simulação devido às dificuldades em sua interpretação e resolução.

Essa descrição foi realizada com base nos registros escritos do pesquisador, após as aulas, e do professor da turma, durante a apresentação das aulas.

As etapas da sequência didática que foram aplicadas em cada semana estão especificadas no quadro abaixo:

Quadro 1 – Relação entre as semanas de aplicação e as etapas da sequência abordadas.

Semana de aplicação	Etapas da sequência abordadas
4.1 Primeira semana	3.1 Primeira Etapa – Conhecendo o objeto de estudo.
4.2 Segunda semana	3.1 Primeira Etapa – Conhecendo o objeto de estudo; 3.2 Segunda etapa – Algumas considerações e a construção do modelo; 3.3 Terceira etapa - Descrição do Modelo; 3.4 Quarta Etapa – Formulação do Modelo.
4.3 Terceira semana	3.4 Quarta Etapa – Formulação do Modelo.
4.4 Quarta semana	3.5 Quinta etapa – Discussão das atividades e aplicação da equação.
4.5 Quinta semana	3.6 Sexta etapa- Revisão e Aplicação da Avaliação.

Fonte: Própria do autor.

4.1 Primeira semana

Na primeira semana de aplicação, foram utilizadas apenas duas aulas das quatro semanais em cada turma. Neste período foi possível levantar em discussão todas as perguntas da primeira etapa da sequência didática, além de começar a análise detalhada de cada uma delas de acordo com os objetivos almejados e as respostas dos alunos para cada uma, dando início à primeira etapa de modelização. A partir deste momento, quando aparecer no texto a palavra professora, ela estará se referindo a aluna pesquisadora.

A aula iniciou com a professora perguntando aos alunos o que eles poderiam dizer a respeito do comportamento do ar dentro desta sala. Como em nenhuma turma houve respostas à pergunta, numa tentativa de simplificá-la ainda mais possibilitando um início, a professora perguntou o que então eles poderiam dizer a respeito

do ar presente na sala, não só do seu comportamento. Os alunos começaram a fornecer respostas, que iam sendo listadas na lousa. Todas as turmas responderam de maneira semelhante, sem respostas muito elaboradas e poucos alunos participaram deste primeiro momento. Alguns deles citaram que o ar é rarefeito, outros que ele está em todo lugar, que ele não é sempre o mesmo (devido à presença das janelas), entre outras.

Percebe-se que as variáveis de estado dos gases ideais apareceram desde já em praticamente todas as turmas (pressão, volume e temperatura). Alguns alunos relacionaram o volume com a temperatura quando comentam que há uma dilatação deste ar. Pode-se notar que o ar ocupando todo o espaço e se moldando a ele já faz parte da concepção de quase todas as turmas, mas a ideia de um gás com partículas mais distantes umas das outras aparece em apenas uma das salas, quando afirmam que o ar é rarefeito já que suas partículas estão mais afastadas. Constata-se também que grande parte dos estudantes entende o ar como sendo composto por gases, quando em uma das classes aparecem exemplos destes gases e em outra de maneira mais geral, que eram formados por partículas, além de afirmações diretas de que o ar se trata de um gás, que tem gases, além de sujeira e umidade.

Após cessar as colocações dos alunos a professora fez as perguntas norteadoras planejadas, escrevendo-as no quadro uma de cada vez, para que eles pudessem levantar mais hipóteses e discutissem mais detalhadamente sobre o que pensavam a respeito do comportamento do ar, motivando-os sempre a falar, pois era perceptível certa preocupação em estarem certos ou errados, já que logo após alguma colocação eles perguntavam se era correto afirmar tal coisa. Por isso houve a necessidade de a professora deixar claro que neste momento o objetivo era levantar hipóteses a respeito de como é o comportamento do ar e tudo que se sabe ao seu respeito para tentar solucionar a pergunta inicial, mas que depois seria discutido as respostas e eliminadas as que não eram relevantes para o objetivo ou que não eram corretas as afirmações. Isto foi vital em todas as turmas, para que se sentissem a vontade para participar.

Além disso, um aluno das quatro turmas sentiu certo desconforto com o modo como a aula estava se dando, e manifestou sua opinião dizendo que o procedimento era uma besteira, deixar os alunos falar o que quisessem mesmo estando errados e que anotar as coisas erradas no quadro era errado, entre outras coisas, mostrando uma resistência ao uso de um método que não o tradicional, em que estão acostumados. Foi necessário mesmo que não estando previsto naquele momento, mas sim no término da etapa de descrição, que a professora explicasse sua proposta de aula, deixando clara a primeira etapa da modelização de Hestenes e a importância de se analisar o objeto de estudo.

Foi pedido pela professora para que os alunos anotassem o que achassem importante, relevante para solucionar o problema, porque eles poderiam vir a precisar depois. Muitos poucos no total das turmas fizeram isto durante as aulas.

Quando os alunos terminam de levantar as hipóteses para todas as perguntas a professora aborda os pontos gerais ditos sobre os gases antes delas, eliminando coisas desnecessárias ou erradas e ou relacionando-as a coisas relevantes, sempre visando abordar o conjunto de variáveis descritivas, ou descritores, e seus conceitos físicos para representar as propriedades dos gases. Como por exemplo, a afirmação feita de que o ar não se pode pegar com as mãos pôde ser relacionado ao fato de que é necessário um volume para armazená-lo. Após isso, analisa as hipóteses colocadas para as perguntas norteadoras. Todos os fatores abordados pelos alunos que não contribuíam para a resposta das perguntas foram esclarecidos primeiro, os demais foram debatidos no desenrolar da discussão.

Sobre as respostas dos alunos das quatro turmas e discussões das perguntas norteadoras propostas. Com relação à primeira pergunta – Do que é composto o ar dentro desta sala? – as respostas podem ser consideradas satisfatórias. Os alunos comentaram que ele é composto por uma mistura de gases (CO_2 , CO , O_2 , entre outros). Alguns deles citaram ainda a presença de partículas de poeira, bactérias e fungos. Uma das turmas coloca praticamente todos os quatro gases mais abundantes no ar, esquecendo-se apenas do argônio. A professora pergunta aos alunos, a diferença entre moléculas e átomos, se os elementos apontados e que estão presentes no ar são todos átomos, ou se temos a formação de moléculas nesses gases. Já que em geral muitos dos elementos citados apesar de estarem presentes no ar aparecem como molécula e não como átomo isolado, o que parece ter sido um fator pouco diferenciado.

A professora conversa com os alunos sobre a busca do átomo por estabilidade, segundo a regra do octeto e suas exceções, os alunos recordam de terem estudado isto em química. Pergunta se eles sabem o que é uma ligação covalente, discute ainda sobre o que é uma nuvem eletrônica e a formação de uma nova nuvem compartilhada pelos núcleos da molécula. Ela aborda o conceito para poder dar continuidade na explicação.

A professora pergunta aos alunos se no ar pode haver a presença de outras substâncias, além das citadas por eles, dependendo das condições em que ele está exposto. Eles comentam sobre as indústrias e os poluentes que elas eliminam no ar e a professora complementa com outros exemplos.

Após esta discussão ela mostra uma tabela, no slide, que contém os gases que compõem o ar numa situação em que elementos variáveis que dependem do ambiente e que estão presentes numa quantidade muito pequena, são desconsiderados. Além da fração molar e da representação da geometria molecular das partículas de cada gás, num mol de ar nas proximidades da terra (~ 80 km) e na CNTP (Condições normais de temperatura e pressão). Para que fosse possível entender a tabela a professora discute a CNTP, a conversão de graus Celsius para Kelvin e as três unidades mais utilizadas de pressão. Prossegue pedindo o que é uma fração molar, o que é um mol, e na mesma situação pede aos alunos se eles recordam da lei de Avogadro com o objetivo de relembrar a relação de que 1 mol de qualquer gás ocupa na CNTP o mesmo volume.

A professora pergunta aos alunos a porcentagem de cada gás presente no ar de acordo com a tabela. Mostra com as imagens as diferentes geometrias moleculares, concluindo com os alunos como ar é muito complexo. Pergunta se não é conveniente considerar o gás como sendo formado apenas por nitrogênio diatômico e oxigênio diatômico, já que 99,03 % do ar é formado por eles.

Na segunda pergunta – As moléculas de ar se encontram próximas umas das outras? Elas preenchem todo o volume ocupado pelo gás? – Alguns alunos respondem que as partículas estão afastadas, outros que não, que depende da quantidade, entre outras coisas. Sobre o ar preencher todo o espaço, há muitas discordâncias, alguns dizem que ela tem que ocupar todo o volume, mas não preenche todo o espaço, outros dizem que sim. Em algumas turmas a ideia de que as partículas estão afastadas uma das outras só aparece quando os alunos comparam a distância com as partículas de um líquido e sólido. Mas há aqueles que não concordam afirmando que depende da quantidade de partículas, do ambiente, parecendo dar a entender uma ligação com a pressão que atua sobre o gás. A professora explica que a distância média entre elas depende das condições que o gás se encontra e pergunta novamente aos alunos se as partículas ocupam todo o volume ocupado pelo gás. Eles que inicialmente haviam colocado frases diretas como as partículas estão aglomeradas e a uma distância pequena não aparecem mais.

A ideia de um gás se espalhando por todo o espaço, volume em que está contido, é perceptível no início apesar de ser evidente a confusão com algo se espalhando por todo o espaço, mas não o preenchendo completamente. Tanto que os alunos colocam que um sólido também se pode comprimir apesar da pequena distância entre as partículas, então para eles afirmar que o gás pode ser comprimido justamente por essa característica não é justificável. Então é necessário que a professora explique que o fato das partículas estarem afastadas possibilita aos gases se tornarem altamente compressíveis e com capacidade de expansão ilimitada e que nos sólidos o que ocorre é uma deformação da estrutura, que perde sua capacidade de retornar a sua estrutura inicial.

A professora deixa claro que esta distância entre eles faz com que as forças de ligação, que dependem justamente das distâncias, sejam mais fracas do que nos líquidos e sólidos, podendo ser praticamente desconsiderada por ter um valor muito pequeno, por isso só os gases não assumem uma forma específica assim como os líquidos, mas eles conseguem se espalhar por todo um volume se moldando a ele, coisa que líquidos e sólidos não conseguem porque a força de ligação mantém as partículas unidas.

A professora pergunta aos alunos se todos os gases se dilatam da mesma maneira, se todos possuem o mesmo coeficiente de dilatação, os alunos respondem que não, que depende do gás, já que haviam estudado a dilatação dos sólidos e líquidos e era justamente o que ocorre nestes dois casos. Ela explica que a força de ligação entre as partículas, que possuem um valor considerável para gases e líquidos é uma força elétrica, depende do número de prótons e elétrons nas partículas e são inversamente proporcionais a distância, cada elemento possui um determinado número de prótons e elétrons diferentes, então estas forças devem ser diferentes, por tanto cada material terá um coeficiente de dilatação diferente. Os alunos conhecem as forças de atração e repulsão mesmo não tendo estudado ainda. A professora refaz a pergunta, se os gases se dilatam da mesma maneira, os alunos ainda não mudaram sua opinião, então a professora relembra que um gás na CNTP ocupa sempre o mesmo volume, independente do gás. Complementa que como a distância entre as partículas é grande, sua força de ligação é tão pequena que não diferencia significativamente a maneira como um gás se dilata de outro, possuindo todos os mesmo coeficientes de dilatação.

A professora fala que quando a temperatura de um gás qualquer aumenta 1°C o volume aumenta 1/273 vezes seu volume inicial se ele não estiver confinado num recipiente de volume fixo. Pergunta aos alunos o que acontece se

ele estiver. Os alunos compreendem que o recipiente dilatará de maneira diferente e que o gás que se molda ao recipiente não terá espaço para se expandir, eles conseguem relacionar isso com o aumento da pressão.

Na terceira pergunta – O ar dentro desta sala se encontra em equilíbrio térmico? – as respostas foram satisfatórias. Em três das quatro turmas aparece a preocupação do equilíbrio térmico com o quê. Uma das turmas afirma que está, justificando que ele tende a ficar com a mesma temperatura, como se esta tendência significasse o equilíbrio. As outras turmas estão divididas. A professora recorda com eles a lei zero da termodinâmica que estudaram anteriormente lembrando a definição de equilíbrio térmico de um sistema. A partir daí todos chegam num consenso de que o ar não está em equilíbrio térmico. Surge em duas turmas para justificar que o ar não está em equilíbrio térmico com os outros objetos, o fato de quando se encostam aos objetos, maçaneta (metal), carteira (madeira) eles estão com temperaturas diferentes. Assim se faz necessário que a professora recorde com eles a condução de calor em diferentes materiais, bom condutores ou não. Ela também mostra a representação matemática da taxa de condução para mostrar as variáveis relacionadas.

A professora prossegue perguntando se o ar está sempre com a mesma temperatura na sala de aula, aproveitando para recordar a definição de temperatura. Os alunos concluem que não. Ela pergunta se o sistema ar mais sala compõem um sistema isolado e recorda a definição de sistema isolado aberto e fechado. A partir daí os alunos afirmam que não se trata de um sistema isolado, nos casos em que janelas e portas estavam abertas, pois há entrada e saída de ar, além disso, há vento. Ela pede se a temperatura do ar que entra é a mesma do ar dentro da sala. Respondem que não, dizendo que o ambiente lá fora influencia, o sol está esquentando o ar que estava lá fora e que entra, concluindo que o ar dentro da sala não estará sempre com a mesma temperatura. Ela pergunta se fechando a porta e as janelas o ar ficará em equilíbrio térmico. Pelas respostas três das quatro turmas não acham ainda que ele estará em equilíbrio, isto devido à presença das pessoas. Assim foi necessário que a professora abordasse a troca de calor entre o corpo humano e o ar.

Nenhuma das turmas percebe que as paredes e janelas não são de um material isolante térmico, portanto a professora pergunta se elas são diatérmicas ou adiabáticas. Assim conseguem perceber que mesmo que não haja troca de matéria, o ar não manteria uma temperatura constante, já que há troca de energia com o ambiente externo através das paredes. Os alunos concluem que a temperatura da sala aumentaria e diminuiria conforme a variação da temperatura externa.

Uma das turmas ligou o ar-condicionado, nesta sala os alunos afirmam que o ar estará em equilíbrio térmico, que vai demorar um pouco, mas na região mais próxima do ar-condicionado o ar estará com uma temperatura menor. Houve uma discussão sobre convecção do ar, a turma conclui que ainda haveria regiões onde a temperatura não seria a mesma na sala, mas estaria mais perto de manter uma temperatura média, independente de fatores externos.

Na quarta pergunta – a massa desses átomos e moléculas, o que podemos dizer a respeito delas? – todos os alunos concordam que a massa das partículas é diferente uma das outras. Três das quatro turmas mencionam a densidade como um fator em que a massa ser diferente interfere, mostrando respostas satisfatórias para um primeiro momento. A professora faz uma série de perguntas incluindo situações exemplos, como um balão de gás hélio, para que os alunos concluam que a densidade do gás de fato está relacionada com a massa dele. Prossegue questionando como eles calculariam a densidade de um mol de ar, utilizando para isso o primeiro slide onde estava presente a composição e fração molar do ar. Duas das turmas não formularam nenhuma hipótese, mas em uma das salas um dos alunos respondeu que deveriam ser somadas as massas moleculares de todas as partículas e dividido pelo volume que o gás ocupa multiplicado pela fração molar, não conseguindo entender direito o significado de fração molar. Em outra turma os alunos não colocaram a fração molar, apenas a soma das massas moleculares dividido pelo volume.

A professora pergunta qual volume deveria ser utilizado para calcular a densidade já que se trata de um mol de gás. Como eles não respondem ela recorda a lei de Avogadro. Comenta ainda sobre a fração molar e a necessidade dela ser multiplicada pela massa molar. Além disso, pergunta aos alunos se há a necessidade de somarmos todas as massas, os alunos comentam que não, lembrando do que havia sido discutido na composição do ar fazendo uma aproximação menos exata, considerando todo o ar composto de nitrogênio diatômico.

Alunos de três turmas também comentaram que dependendo da massa de um gás ele terá que receber uma maior ou menor quantidade de calor para variar sua temperatura. Então a professora lembra brevemente o conceito de calor específico. Como em uma das turmas a massa apareceu como um fator que modifica o ponto de congelamento, no sentido de uma maior quantidade de gás, ela comenta que o ponto de congelamento está relacionado

com a estrutura do material. Apenas uma das turmas afirma que a partícula de menor massa terá mais facilidade para se mover e que a velocidade da partícula será de acordo com sua massa, dando a entender que será necessária uma força maior a ser aplicada, mas em nenhum momento relacionam a velocidade com a temperatura do sistema.

A professora relembra a terceira pergunta da sequência, em que todos chegam a um consenso de que o ar dentro da sala não está em equilíbrio térmico. Cria uma situação hipotética onde se considera que não há entrada e nem saída de ar dentro da sala, ou seja, fluxo de matéria, e revestindo a sala com paredes adiabáticas terão então uma situação de equilíbrio térmico. Ela pergunta aos alunos então, como se calcula a energia cinética de uma partícula para uma dada temperatura. Os alunos recordam da equação. A professora iguala a energia cinética do hélio e da molécula de nitrogênio que estão presentes no ar, explicando que a energia cinética média destas partículas deve ser a mesma para o ar em equilíbrio térmico, mas que isso será discutido mais frente. Ela pergunta aos alunos o que tem que acontecer para que os dois valores sejam iguais e eles respondem sem dificuldades que suas velocidades devem ser diferentes. A turma então conclui que as partículas com massa menor terão uma velocidade de translação maior.

Mesmo os alunos participando durante as discussões, o que se percebe é que são sempre os mesmos que interagem. Nota-se também que devido ao fato de que a professora estava discutindo o que eles já haviam colocado como hipótese, durante o momento da discussão das perguntas acabou havendo menos dúvidas e questionamentos do que o esperado. Acabou sendo um momento mais esclarecedor do que questionador. Há uma grande preocupação em estarem corretas suas afirmações, sendo necessária a insistência da professora na participação.

4.2 Segunda semana

Na segunda semana a professora continuou as discussões das perguntas sugeridas a partir das hipóteses dos alunos.

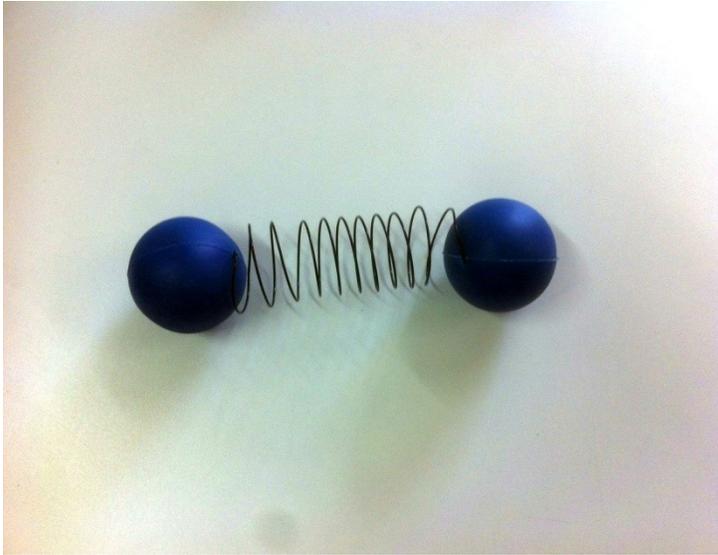
Na quinta pergunta – Essas moléculas colidem? O que acontece quando isso ocorre? – as quatro turmas concordam que as moléculas e átomos que compõem o ar colidem. Mas em algumas justificativas afirmam que colidem pelo simples fato de estarem no ar, como se elas não fizessem parte da composição. Além disso, duas turmas justificaram que elas colidem por possuírem polos positivos e negativos, a ideia de uma força de atração entre cargas de sinais contrários aparece aqui novamente. A causa de a colisão ser o fato de matéria atrair matéria também foi utilizado parecendo estar se referindo a existência de uma força gravitacional entre as partículas.

Aparece a ideia das partículas colidirem por estarem em movimento, agitadas, e é a resposta que mais justifica o fato. A professora complementa que suas velocidades serem altamente elevadas, apesar de manterem uma distância média relativamente grande, faz com que elas colidam.

Os alunos também responderam que nas colisões ocorrerão reações químicas. Para explicar que isto não ocorre, a professora pergunta se numa reação temos como produto dos reagentes um novo composto e se a composição de certa quantia de ar isolado está constantemente mudando sua composição. Assim eles concluem que não ocorrem reações químicas nessas colisões.

Além disso, alguns afirmam que quando elas colidem ocorre o choque, quebram, explodem, se deformam, vão para trás e a energia cinética se transforma em energia potencial. Estas respostas são pontos de partida que podem ser relacionados à física das colisões. Os pontos que quebram, explode se deformam mais a frente ela justifica através da conservação da energia cinética. As hipóteses que dizem que as partículas vão para trás após as colisões e que a energia cinética se transforma em energia potencial ela aborda depois de uma atividade envolvendo uma representação de duas moléculas com formato de halter, como mostra a figura a baixo.

Figura 1 – Fotografia da representação da molécula.



Fonte: Própria do autor.

A professora recorda que o ar é formado principalmente por moléculas de N_2 e O_2 com geometria linear e que estas serão representadas pelos objetos da figura acima. Ela pede para dois alunos jogarem uma “molécula” contra a outra e pergunta a todos o que podem observar. Grande parte responde que elas vão para trás. Na tentativa de uma resposta não tão específica a professora pergunta então se o sentido do movimento das moléculas é o mesmo depois da colisão. Alguns alunos confundem direção com sentido, então a professora esclarece a diferença e os alunos acrescentam que nem o sentido nem a direção são os mesmos.

Ela prossegue pedindo quais outros movimentos são efetuados pelas moléculas, além do movimento de translação. Eles conseguem perceber o movimento de rotação e comentam que a distância média entre os átomos que compõem a molécula também não é constante. A professora aborda primeiramente a rotação. Rotacionando o halter em torno dos três eixos, fazendo um desenho deles no quadro. Os alunos conseguem concluir que essa molécula poderá rotacionar em torno de 2 eixos perpendiculares. Ela pergunta se no caso de uma molécula com geometria angular a rotação em torno de seu próprio eixo modificaria alguma coisa, também para verificar se os alunos entenderam o raciocínio. Eles não mostraram nenhuma dificuldade.

Agora a professora discute sobre a variação da distância média entre os átomos da molécula, pedindo se foi necessário que houvesse colisão. Os alunos percebem que não observando a representação. Ela comenta que estes desvios são pequenos até porque os átomos estão ligados. Explica inicialmente através de desenhos apresentando três momentos diferentes: a molécula se aproximando, passando por um ponto de equilíbrio e se afastando, discutindo sobre as forças restauradoras de atração e repulsão nos momentos. Como alguns alunos disseram que não estavam conseguindo entender, ela mostra o movimento com o objeto que representa as moléculas, assim eles recordam da energia cinética que se transforma em energia potencial elástica e vice-versa. A professora aproveita para discutir estas energias nos três momentos, concluindo com os alunos que há então uma energia de vibração cinética e potencial associada ao movimento de vibração.

A professora pergunta aos alunos qual é o movimento das partículas entre uma colisão e outra, para ajudá-los complementa a pergunta, pedindo qual o movimento dos corpos onde não se tem uma força atuando sobre eles. Os alunos concluem que é uma reta. Ela também pergunta sobre as velocidades destas partículas, se está variando ou não, se não tem nenhuma força atuando. Os alunos concluem que o movimento é retilíneo uniforme.

Na sexta pergunta – Elas colidem apenas entre elas ou com as paredes também? O que isso pode acarretar? – os alunos respondem que sim, mas que também colidirão com as paredes e outros objetos, pessoas a sua volta. Eles utilizam uma força de atração como justificativa por estarem em movimento, entre outras coisas. Para explicar o que leva estas colisões a ocorrerem, a professora relembra as causas já discutidas.

Em uma das turmas aparece como na questão anterior, a ideia de que ocorrerá reações químicas ou a quebra das partículas nas colisões, mas neste momento, eles já compreendem que não. Em outra turma os alunos respondem que com a colisão com as paredes haverá a formação de moléculas, como se a molécula fosse a divisão do átomo em outros que permanecem ligados. A professora retoma brevemente, o conceito de ligação covalente, para que fosse descartada a colocação.

Em duas classes temos a suposição de que nestas colisões ocorre atrito, a professora comenta que se houvesse atrito haveria dissipação da energia cinética. Aparecem também ideias semelhantes, como por exemplo, que nas colisões com as paredes haverá troca de calor, que a energia cinética se transformará em energia térmica e que este calor armazenado se transformará em energia potencial. A professora pergunta se a temperatura do ar diminui com o tempo num sistema isolado, complementa que não necessariamente haverá o choque numa colisão e relembra o conceito de energia potencial elástica.

Há também colocações de que após a colisão haverá espalhamento, elas colidirão e voltarão no sentido contrário e em uma das turmas os alunos comentam sobre a 3ª lei de Newton. Nestas classes a professora pede que relembrem esta lei, para que possam concluir que há uma força sendo aplicada pelas partículas de ar sobre uma determinada área da parede, e verificar se eles sabem qual a grandeza que está relacionada a estas variáveis. Já nas turmas em que os tópicos anteriores não foram abordados ela pede para que recordem o movimento que as partículas realizam entre uma colisão e outra e o que acontece quando se aplica uma força sobre um corpo. Os alunos citam a terceira lei de Newton. A partir daqui a professora prossegue de maneira semelhante em todas as classes.

Os alunos têm dificuldades em relacionar esta força aplicada pelas partículas como causadora de uma pressão sobre a parede, usando expressões semelhantes como empurram, pressionam o que leva a professora a seguir a diante perguntando se eles sabem como se calcula a pressão aplicada numa determinada área. Os alunos afirmam que não lembram. Ela escreve a equação da pressão no quadro e pergunta se eles sabem como se calcula a força aplicada sobre um determinado corpo. O que se percebe nas respostas é certa confusão com a grandeza quantidade de movimento, por parte de alguns alunos que participam respondendo que a força é a massa vezes a velocidade. Mesmo assim ela registra a resposta.

A professora discute o que é necessário para haver aceleração e corrige então a equação da força no quadro. Prossegue perguntando se o tempo de duração da colisão é grande ou pequeno e como será a intensidade da força. Explica que esta intensidade pode variar de acordo com a massa da partícula que colidiu. Pergunta se os alunos recordam do conceito de impulso. Como eles não respondem ela faz uma revisão concluindo que o impulso equivale a variação da quantidade de movimento de um corpo, dando continuidade no desenvolvimento matemático da expressão de força para chegar a expressão da variação da quantidade de movimento. A professora aborda dois exemplos, uma pessoa pegando impulso para saltar e o impulso dado num balanço. Os alunos tem um melhor entendimento com eles.

A professora deixa escrito no quadro a expressão matemática da pressão em termos da variação da quantidade de movimento e pergunta aos alunos como podemos calcular a pressão exercida por uma partícula de ar sobre a partícula da parede. Os alunos respondem utilizando a equação do quadro. Ela prossegue explicando que irá considerar as partículas como esferas puntiformes, e as colisões como se ocorressem sempre ao longo de uma direção, ou seja, como colisões unidimensionais, sendo a força que atua durante a colisão em direção da linha que liga o centro das duas partículas e as componentes de velocidade perpendiculares não são alteradas.

A professora faz o desenho no quadro representando o vetor velocidade e calcula a variação da quantidade de movimento junto com os alunos, pedindo para que observem o sentido do vetor velocidade e o sinal que estipulamos para cada sentido como positivo e negativo. Ela discute com os alunos através de várias perguntas se a massa inicial e final será a mesma e se o mesmo deve ocorrer com a velocidade. A professora conclui com os alunos que apenas o sentido do vetor velocidade que inverte e que se a velocidade não fosse a mesma a pressão aplicada pelo gás sobre as paredes diminuiria com o tempo. Ela chega ao resultado, na lousa, da pressão exercida por uma partícula sobre a parede.

Agora a professora explica aos alunos que o número de colisões nas paredes, pelas partículas, é muito grande, não se percebe o efeito do choque de cada uma, o que se observa é o efeito médio das frequentes sucessões de colisões, que ocasiona o aparecimento de uma força contínua, sem flutuações já que o intervalo entre uma colisão e outra é muito pequeno. A professora fornece como exemplo um jato de areia e pergunta como se pode fazer para calcular esta pressão aplicada por n partículas sobre a parede. Os alunos respondem corretamente, então a professora

registra a resposta no quadro e pede agora como se calcula a pressão que o ar exerce sobre a sala. Alguns alunos falam que teremos que considerar todas as direções, a professora prossegue explicando todos os passos necessários comparando com a equação anterior (partículas apenas na direção x).

A professora conclui a equação da pressão exercida por um determinado gás que compõem o ar sobre um determinado volume e a reescreve em função da energia cinética. Pergunta aos alunos como calculariam a pressão para o ar, que se trata de uma mistura de gases. Eles respondem que teriam que somar a pressão que cada gás exerce sozinho e dividir pelo número de gases. Ela explica que se fosse feito uma média estariam calculando o valor médio da pressão aplicada por cada gás e não considerando o número total de partículas que estão exercendo pressão. Sendo que o correto seria somar a pressão que cada gás exerce sozinho sobre o volume, e que poderia ser calculada pela expressão chegada.

Mostrando a expressão para calcular a pressão que cada gás exerce em função na energia cinética ela pede aos alunos para considerarem uma situação em que o ar esteja em equilíbrio térmico, o que fará com que a pressão que um determinado gás exerce sobre um mesmo volume seja maior que a que outro exerce. Eles comentam entre outras coisas, que se a temperatura for maior a pressão irá ser maior, mostrando terem entendido a relação entre a energia cinética e a temperatura, e respectivamente da energia cinética para a pressão. Apenas um aluno em média, por turma, responde o número de partículas, conseguindo assim perceber, talvez pela presença da letra n na equação representando o número de partículas, que quanto maior for seu valor maior será a pressão exercida. Como se pode observar pela expressão da pressão que cada gás exerce em função da energia cinética, exposta abaixo:

$$P = (n (2/3 E_{cinética}))/V$$

Na última pergunta – Qual tipo de energia é associado ao movimento das partículas? Além da energia cinética, que outra grandeza pode ser utilizada para caracterizar o movimento das moléculas e átomos? Energia cinética total e a quantidade de movimento nas colisões entre as moléculas e com as paredes da sala se conserva? – todas as turmas conseguem relacionar a energia cinética, então ela pede para que relembrem como se calcula. Os alunos que participaram responderam corretamente. Na parte da pergunta que pedia qual outra grandeza que poderia ser utilizada para caracterizar o movimento das partículas, nenhuma das turmas recordou da quantidade de movimento. Apareceu diversas variáveis, como temperatura, pressão, volume, peso, deslocamento, trabalho, energia de ativação relacionada à disciplina de química e outras como força, velocidade, direção e aceleração, que a professora pode utilizar para ajudá-los a chegar à quantidade de movimento.

Numa sequência de perguntas e respostas ela faz os alunos perceberem a importância da massa e da velocidade para caracterizar o movimento de um corpo. E em seguida pergunta se eles sabem qual a grandeza que relaciona a massa com a velocidade do corpo. Como eles não respondem ela escreve a equação no quadro e responde aos alunos que se trata da quantidade de movimento do corpo.

O último questionamento da pergunta inicial estava relacionado a conservação da energia cinética total e da quantidade de movimento nas colisões entre as partículas e com elas e as paredes, na qual as quatro turmas concluíram não haver conservação da energia cinética. Uma das justificativas que aparecem em todas as turmas é que ela iria se transformar em outra forma de energia, comentam como, por exemplo, energia potencial, energia mecânica. Mostrando não lembrarem direito do conceito de energia potencial e de energia mecânica.

Sobre a conservação da quantidade de movimento os alunos não souberam responder mesmo depois de a professora discutir o conceito. Como os alunos haviam dito hipóteses apenas a respeito da conservação da energia cinética a professora começa conversando sobre este tópico. Inicia falando o que significa algo que se conserva e pede se as grandezas permanecem inalteradas após as colisões. Como os alunos não respondem ela prossegue explicando o que é necessário para haver conservação da energia cinética, e como se calcula a energia cinética total de um sistema com n partículas.

A professora faz uma série de perguntas para que os alunos concluam que não há dissipação da energia cinética em outras energias, como térmica ou de vibração, ou se houver pode-se considerar que a perda dela durante as colisões são tão pequenas que não afetam os resultados. Ela reforça também o que já havia sido esclarecido, que a energia cinética se transforma em potencial durante as colisões não implica que não haverá conservação da energia

cinética e pergunta se recordam o nome que é dado para colisões onde há conservação da energia cinética. Em geral os alunos não recordam, salvo algumas exceções no total das turmas.

A partir daqui a professora passa a discutir a conservação da quantidade de movimento. Ela pergunta o que é necessário para variar a quantidade de movimento de um corpo. Como os alunos não respondem ela modifica a pergunta dizendo que se variarmos a velocidade teremos uma variação da quantidade de movimento, então pede o que é preciso para variar esta velocidade. Eles respondem agora sem dificuldades, este assunto já foi bastante discutido até agora. Ela pergunta então para um sistema com mais de uma partícula colidindo, como ar dentro da sala, como saber se há conservação da quantidade de movimento. Devido a ausência de respostas ela explica como se calcula a quantidade de movimento total de um sistema com n partículas.

A professora faz um desenho no quadro de duas partículas de massa m_1 e m_2 em dois instantes finais e iniciais, acrescentando o vetor velocidade de cada partícula e indicando o sentido nomeado como positivo e negativo. Relembrando a terceira lei de Newton, os alunos comentam que a força aplicada sobre uma partícula será a mesma aplicada sobre a outra. A professora complementa que o mesmo ocorre para o impulso aplicado. Ela relembra que impulso é igual à variação da quantidade de movimento e desenvolve a equação pedindo para que os alunos a ajudem com o sinal da velocidade, chegando a lei de conservação da quantidade de movimento e concluindo com os alunos que há conservação da quantidade de movimento nas colisões entre as partículas.

Pergunta aos alunos se há conservação nas colisões com a parede, os alunos que respondem entendem que sim, dizendo que ocorre a mesma coisa, a 3ª lei de Newton, então deve haver.

A professora pergunta aos alunos se atuam outras forças nas partículas além das internas, e em todas as turmas os alunos falam sobre a força gravitacional. Ela relembra que ela pode ser desconsiderada, mas que qualquer força aplicada por algum agente externo ao sistema, iria variar a quantidade de movimento de algumas partículas, fazendo com que ela não se conserve. Os alunos dizem que não entendem, porque mesmo assim terá a terceira lei de Newton, assim a professora explica que não haverá uma força igual e contrária sendo sofrida por outras partículas do sistema e sim pelo agente externo que não faz parte do somatório.

Para concluir a professora discute a relevância de estudar o que está acontecendo com as partículas no meio do gás e pergunta, entre outras coisas, se o mesmo ocorre com as colisões com as paredes. Os alunos se encontram divididos, alguns recordam da pressão que as colisões causam, outros afirmam simplesmente que não, já que não altera nem a quantidade de movimento nem a energia cinética. A professora explica as razões que leva a pressão a ser um fator importante para descrever o comportamento do ar.

Assim a professora termina a discussão da primeira etapa da sequência didática, todas as leis Físicas e variáveis para que se possa conhecer o objeto de estudo, no caso os gases, foram discutidas, dando início a segunda etapa da sequência didática, onde ela deixa claro seus objetivos de construir um modelo para os gases. Conversa com os alunos que com a construção desse modelo será possível descrever e prever o comportamento dos gases diante de certas alterações, mesmo sendo ele tão complexo. Pergunta aos alunos se eles sabem o que é um modelo. Alguns fazem menção aos modelos “pessoas” e em uma das turmas um aluno responde que se trata de uma coisa que segue um padrão. A professora discute o que são modelos o que representam e porque são necessários.

Nas turmas em que os alunos não faziam ideia do que era um modelo a professora aborda o comentário do colega da outra turma para ajuda-los a entender o conceito geral da palavra, e continua explicando o seu conceito, como um objeto substituto.

Ela explica para todas as turmas a razão do objeto representar apenas parcialmente a realidade, abordando a importância dos limites de validade dos modelos.

A professora conversa com os alunos que muitas vezes eles questionam o uso dos modelos físicos e suas representações matemáticas na utilidade de situações reais, como observou a professora nas aulas que acompanhou e explica que muitas vezes a razão disso é que eles aplicam o modelo para situações fora dos seus limites de validade, onde com o modelo não se pode obter previsões corretas. A professora fornece como exemplo em algumas turmas o atrito, que geralmente é desconsiderado nas situações estudadas, mas que nem sempre numa situação real o atrito terá um valor tão pequeno que poderá ser desconsiderado, então se deve considera-lo nas equações utilizadas nestas situações. Os alunos falam não terem se dado conta dos limites de validade dos modelos, justificando porque acreditavam que a física não funcionava na realidade.

A professora prossegue dizendo que neste momento o que se quer é construir um modelo para os gases e que para isso eles poderão utilizar as discussões anteriores, perguntando se há situações em que se pode dizer que os gases se comportam de maneira semelhante, para que neste caso seja possível criar uma classe geral de gases, um modelo que os represente independente do tipo de gás, dentro desses limites em que seus comportamentos se assemelham. Ela deixa oportunidade para os alunos responderem e na medida em que eles param de participar, ela vai fazendo uma revisão do conteúdo apresentado durante as duas primeiras semanas de aula, para que os alunos possam responder durante a discussão.

Após a revisão a professora em conjunto com a turma sintetizou as idealizações e aproximações que compõem o modelo dos gases ideais:

- Que os gases estejam em equilíbrio térmico;
- Deve-se considerar que os gases são formados por partículas puntiformes;
- Os gases devem ter uma temperatura distante do seu ponto de liquefação, ou seja, altas temperaturas;
- Os gases devem estar no seu limite de rarefação extrema, baixas pressões;
- Devemos desconsiderar as forças de interações intermoleculares entre as partículas;
- As colisões entre as partículas e com as paredes onde o gás está contido devem ser sempre perfeitamente elásticas.

A professora finaliza explicando que todos os gases então que estiverem dentro dos limites de validade impostos acima, farão parte desta classe de gás, representada por este modelo, que é conhecido como modelo dos gases ideais.

Agora a professora inicia a terceira etapa da sequência didática, explicando aos alunos o conceito de modelização e as etapas de modelagem. Fala um pouco de como os cientistas desenvolvem os modelos na física e de como é importante entender que os modelos físicos não surgem de uma hora para outra, que se trata de um processo, que muitas vezes não é realizado apenas por um cientista e que a física esta em constante evolução. Também discute a finalidade dos modelos na física e qual sua importância, que eles possibilitam o estudo de fenômenos complexos.

A professora pede aos alunos se eles têm alguma dúvida até o momento, como não apresentam nenhuma, ela prossegue falando que as duas últimas etapas não serão realizadas, mas comenta como exemplo de ramificação do gás ideal uma situação onde agora poderia se considerar o volume das partículas. Além disso, explica que a validação exigiria um instrumento laboratorial complexo e que não seria possível realizar esta etapa em sala de aula, mas que o modelo dos gases ideais já foi validado pelos cientistas.

Ela deixa claro aos alunos que se quer construir um modelo que se preocupe em analisar o comportamento macroscópico dos gases. Explica o significado do termo macroscópico e que para finalizar a etapa da descrição do modelo é necessário escolher as variáveis macroscópicas termodinâmicas que caracterizarão, descreverão o estado do gás, e que possibilitará a formulação de uma representação matemática para ele, e que para isto eles devem lembrar as discussões e refletir quais fatores analisados são importantes para o estudo desses gases. Deixa claro também que devem focar em elementos cujo tratamento não seja muito complexo, já que por se tratar de gases, possuem $6,0232 \times 10^{23}$ moléculas por mol, não é possível estudar o comportamento dos gases tratando de cada molécula separadamente, portanto as variáveis devem descrever o comportamento de um gás como um todo.

Em todas as turmas os alunos respondem pressão e temperatura, suas justificativas é que como a temperatura deve ser alta e a pressão deve ser baixa para o gás ser um gás ideal, estas variáveis são importantes.

Além destas respostas, aparecem também a massa das partículas e a quantidade de partículas, a professora explica que a massa de cada partícula é uma variável diferente para cada tipo de gás, queremos uma variável que represente toda uma classe de gases independente do elemento. Acrescenta que a quantidade de partículas pode-se obter pela lei de Avogadro, ajuda-os a recordar da lei. Com esta abordagem grande parte dos alunos chega a variável volume para representar o estado dos gases ideais.

Assim a professora conclui a etapa de descrição do modelo e inicia a quarta etapa da sequência didática, segunda etapa de modelização de Hestenes (1987), na última aula da semana.

Em uma das turmas os alunos realizaram esta aula em sala com notebooks, nas outras três foram levados para a sala de laboratório de informática. No primeiro momento a professora insistiu para que conhecessem a simulação Propriedades dos gases, que verificassem suas limitações e todas as suas ferramentas. Os alunos variavam muito a gravidade, então a professora lembrou que no modelo foi desconsiderado a ação da gravidade. A simulação estava apontando um problema técnico já de início comentado pelos alunos, o número de partículas de hélio ficava diminuindo sozinho. A professora pediu que eles tentassem ao máximo durante a realização das atividades tentarem

manter este número constante de acordo com o que era solicitado, para não influenciar nos resultados. Perguntaram sobre as flutuações nos valores da pressão e temperatura, e porque elas estavam ocorrendo.

Como muitos dos alunos não estavam mexendo em todas as ferramentas a professora entregou as atividades (anexo A) que os ajudariam a formular a equação dos gases, já que na primeira questão pedia para que colocassem todas as informações que eles pudessem tirar de uma determinada situação simulada, o que faria com que eles abrissem as ferramentas disponíveis. Como esta questão era mais livre, tiveram a necessidade de confirmação de que ela estava correta e do que eles podiam ou não fazer.

4.3 Terceira semana

A professora dá continuidade a quarta etapa da sequência didática. Como dito na descrição da semana passada, foi deixado um tempo para que eles conhecessem a simulação. Em uma das turmas que iniciou na semana passada as atividades, poucos alunos permaneceram em sala, devido a um evento na escola. Isso trouxe alguns problemas ao desenvolvimento das atividades uma vez que não exploraram as ferramentas disponíveis.

No decorrer das aulas com uso da simulação a professora foi deixando disponível algumas informações no quadro, como: a equação para a determinação do volume do cubo, o número atômico de alguns gases, o valor da unidade de massa atômica (u), entre outros, devido ao número de perguntas e a necessidade para o desenvolvimento das atividades. As dúvidas que os alunos apresentaram durante a etapa de formulação da equação dos gases ideais, foram semelhantes em todas as turmas. Algumas dúvidas gerais que apareceram, foram na questão da variável dependente ou independente, seus conceitos. Alguns alunos perguntaram se estas variáveis eram as constantes k_1 e k_2 . Sobre as constantes, não sabiam qual constante escolher na tabela, já que em alguns casos ambas tiveram valores bem aproximados. A professora pede para que analisem a relação entre as variáveis, de acordo com a proporcionalidade delas, e verificar em qual caso elas se encaixavam melhor, explicando que as constantes devem ter um valor fixo. Os alunos apresentaram dificuldades na utilização dos dados presentes nas tabelas, no cálculo da energia cinética e no uso da notação científica.

As cinco aulas destinadas para que terminassem as atividades não foi o suficiente, a maior parte dos alunos conseguiu responder neste período apenas as três primeiras páginas. Notou-se que a tarefa não seria realizada no tempo previsto, mesmo com a dedicação dos alunos, realizando as atividades sem muitas conversas paralelas, apenas as que envolviam ajuda entre os alunos. Possivelmente isto correu porque os alunos não estão habituados a trabalharem constantemente com simulações, além também do grande número de perguntas para serem resolvidas. Com isso a professora pede durante as aulas para que tentem fazer em casa e tirem suas dúvidas durante as aulas no laboratório de informática, já que se isto não fosse realizado eles teriam que terminar as atividades sem poder tirar suas dúvidas. Apenas três pessoas das quatro turmas fizeram o que foi solicitado e terminaram as atividades ainda durante as aulas.

Após o término das aulas da semana, eles tiveram ainda três dias para finalizarem as atividades e entregarem os trabalhos. Dos 89 alunos que participaram da atividade, 78 entregaram conforme solicitado (56 no prazo estipulado). Destes 18 estavam completos, sendo que 9 chegaram a equação dos gases ideais e 14 formularam a equação de transformação dos gases (relacionando as variáveis final e inicial das grandezas sem a presença explícita do número de mols). Além disso, 4 alunos apresentaram a equação sem a feitura das atividades (podem ter simplesmente consultado o livro texto). Estes números indicam uma dificuldade na conclusão da atividade, que deve ser melhor investigada.

4.4 Quarta semana

A professora deu início a quinta etapa da sequência didática. Foram entregues aos alunos as atividades realizadas na simulação já corrigidas. Antes de iniciar a discussão o professor perguntou aos alunos a razão que levaram muitos a não terminarem todas as questões e quais foram suas maiores dificuldades, as turmas concluíram que foi devido ao número muito extenso de questões e as dificuldades encontradas. Alguns ainda salientaram que a atividade não seria muito valorizada na nota final.

Em seguida foi conversado com os alunos sobre os limites da simulação e reforçado que ela também é uma representação do modelo dos gases ideais. A conversa foi vinculada ao momento inicial que os alunos tiveram para

conhecer a simulação. Os pontos percebidos pelos alunos foram: que a simulação era duas dimensões e assim ficaram em dúvida sobre como eles iriam calcular o volume, mas foi comentada a possibilidade de obtenção da variação do volume mantendo a coordenada não existente como uma constante.

Então foi discutida a existência de dois tipos de partículas presentes: moléculas de nitrogênio (N_2) e átomos de hélio (He) e como elas eram representadas na simulação. Também foi comentado com os alunos que as velocidades apresentadas delas na simulação não eram fictícias, pois eles haviam comentado como elas eram rápidas. A professora perguntou aos alunos se eles perceberam durante as atividades que quando eram colocadas 200 partículas de N_2 a uma temperatura de aproximadamente 273 Kelvin a pressão era aproximadamente 1 atm, simulando as condições normais de pressão da nossa atmosfera, alguns estudantes se manifestaram mas disseram não terem notado a ligação, então o professor lembrou que 79% da atmosfera era composta de N_2 , então poderia ser feito uma aproximação de que toda ela seria praticamente formada por essas moléculas, e para 200 partículas na simulação teríamos uma densidade parecida com a da nossa atmosfera esta seria a razão.

O último ponto abordado pelo professor foi a questão das partículas estarem se movendo mesmo a zero Kelvin, já que alguns alunos levantaram esta questão durante as atividades. O professor também achou pertinente lembrar a discussão sobre a segunda lei da termodinâmica e a impossibilidade de se atingir o zero absoluto. Também foi comentada a existência de uma energia de ponto zero nos sistemas quânticos.

Foram apontados os pontos mais comuns nas respostas dos alunos e discutidos aqueles em que não conseguiram obter êxito em suas respostas abordando cada questão das atividades com toda classe. As questões estão no anexo A. Não houve muita diferença das respostas de turma para turma.

Na primeira questão era solicitada uma descrição geral do que foi observado na simulação. Esperava-se o estabelecimento de relações entre a discussão feita na descrição com as informações coletadas durante esta atividade. Alguns colocaram que as partículas estavam colidindo somente com outras partículas, esquecendo-se das paredes. Houve também comentários a respeito da gravidade e sua influência sobre as partículas, que havia sido discutido anteriormente em sala e pedido para que eles desconsiderassem já que sua força exercida sobre as partículas é desprezível quando comparada as forças aplicadas durante as colisões. Houve ainda os alunos que escreveram que as moléculas mais pesadas estavam mais afastadas umas das outras do que as leves, quando na verdade a distância média entre elas é a mesma, e só dependerá da temperatura do sistema. Os alunos comentaram a respeito das velocidades das partículas, que a pesada era mais lenta que a leve justificando que suas velocidades eram diferentes porque todas as partículas possuem a mesma energia cinética média. Os alunos comentaram também a respeito do movimento das partículas e o professor aproveitou para discutir suas trajetórias seu movimento já que consideramos que não há nenhuma força sendo aplicada sobre as partículas a não ser no momento da colisão, e ainda que o tempo de duração entre as colisões era desprezível comparado ao intervalo entre elas. Houve alunos que escreveram que uma partícula empurra a outra na colisão, se referindo provavelmente ao impulso aplicado.

Na questão 1.2 (anexo A) eles tiveram que analisar duas situações, uma em que teriam uma maior quantidade de partículas e na outra eles retirariam 80% delas, respondendo três afirmações. Na primeira afirmação, se as partículas estão separadas por distâncias relativamente grandes, para que percebessem que quanto menor a quantidade de partículas maior a distância entre elas, mais rarefeito o gás estaria, logo resultaria em pressões baixas e na segunda a afirmação, se em ambas as situações as moléculas estavam em constante movimento aleatório colidindo umas com as outras e com as paredes do recipiente. Em ambas os alunos não encontraram dificuldades. Já a terceira foi motivo de muita confusão, primeiramente não pode ser analisado as respostas apenas ditas como sim e não, pois a afirmação era “As moléculas de gás não são atraídas ou repelidas umas pelas outras”, o não presente na frase acabou confundindo os alunos, mas em suas justificativas, que alguns realizaram no quadro e outros na questão 1.3 (anexo A), e com o diálogo entre a professora e os alunos, suas respostas ficaram claras. Os alunos tiveram dificuldades para perceber a relação entre baixas pressões e como consequência forças de interação que podem ser desconsideradas. Isto ficou evidente nas respostas como: quanto mais afastadas teriam forças de interação entre as partículas, outros que não há interação porque as colisões entre elas são elásticas. Teve aqueles que não entenderam que não há forças de atração numa representação de um gás ideal, pois neste modelos estas forças foram desconsideradas.

Na questão 2 (anexo A) eles deveriam calcular a energia cinética das partículas em diferentes sistemas e nas 2.1, 2.2 e 2.3(anexo A) analisar suas respostas. Alguns alunos obtiveram valores muito diferentes do esperado devido a erro nos cálculos ou devido a utilização do valor do volume na determinação da energia cinética. Outros chegaram a valores muito próximos, mas em suas análises disseram que eram valores muito diferentes, porque os valores não estavam arredondados, mas arrumando o número de casas elas ficariam iguais, se não, com uma diferença muito insignificante. Isto ocorre, pois os valores das velocidades médias oscilavam bastante, era necessário fazer uma média entre os valores mais altos e mais baixos, caso não tenha tomado este cuidado as respostas não ficariam iguais. Teve alunos que encontraram valores exatamente iguais, mostrando o resultado esperado, pois a energia cinética média das partículas para uma dada temperatura é a mesma.

Na questão 3, 3.1 e 3.2 (anexo A) a grande maioria dos alunos obteve êxito, percebendo que a pressão exercida sobre as paredes não dependia do tipo de partícula que estava colidindo, mas sim do número delas. Quando foi perguntada qual a relação entre a fração de cada tipo de gás, que representava a quantidade de gás presente no sistema, e a pressão exercida, a grande maioria não respondeu a questão, os que responderam acertaram.

Nas questões relativas as leis de Boyle-Mariotte, Charles e Gay-Lussac (anexo A), vários alunos apresentaram dificuldades na construção das tabelas e gráficos (escolha adequada de escala, unidades, identificação de variáveis dependentes e independentes entre outras), apesar de anteriormente a professora ter destinado um momento para essa discussão. Entretanto, a presença neste momento não foi obrigatória, pois se tratava de uma atividade de recuperação. Todos os alunos que fizeram as questões, apesar das dificuldades apresentadas, conseguiram chegar às relações das leis desejadas.

Na tabela final, que serviria para fazer uma revisão de todo o trabalho e das conclusões que chegaram, houve confusões com o conceito de proporcionalidade, que não estavam de acordo com as justificativas de cada lei. Nas equações apareceram algumas igualdades sem a constante de proporcionalidade. Teve aqueles que erraram as leis, mesmo elas estando escritas nas folhas.

A última questão, onde eles deveriam relacionar todas as variáveis, que apareceram na tabela, em uma equação que representasse os gases ideais, alguns colocaram a equação das transformações apenas com as variáveis de estado, sem a equação de proporcionalidade ou o número de mols. Deu para notar que uma grande parcela que colocou a constante de proporcionalidade, ela já foi representada pela letra R que nem havia sido discutida ainda. A minoria respondeu corretamente.

Após a discussão da segunda etapa, foi discutido mais a fundo a Equação dos gases ideais: unidades, conversões. O professor chegou a constante dos gases ideais aplicando os valores das variáveis dos gases na CNTP e o volume que um mol de qualquer gás ocupa de acordo com a lei de Avogadro. Foram resolvidos dois exemplos de exercícios, e pedido para os alunos que resolvessem alguns exercícios tradicionais que se encontravam no livro didático de física, utilizados por eles. As dúvidas que os alunos mostraram na resolução eram as mesmas em todas as turmas. Apresentaram dificuldades em aplicar os limites de validade na diferenciação entre os gases reais e ideais. Alguns estudantes apresentaram dificuldades ao trabalhar com as diferentes transformações, não conseguiram relacionar os tipos de transformações com a equação, além de dificuldades matemáticas para resolvê-las. Nos exercícios conceituais grande parte das respostas dos alunos estava de acordo com o livro e não com os detalhes a respeito do modelo construído em sala. O livro pode ser considerado neste momento um fator de confusão para os alunos de uma das turmas, pois ele trazia como variável dos gases ideais a massa, e em sala de aula ele não entrou como uma variável, mostrando como os alunos não haviam entendido o significado das variáveis, como grandezas variantes no sistema. Foi necessário que a professora explicasse que como foi considerado que o gás analisado estava num sistema isolado, não havia uma variação da massa. Ele não é uma variável de estado nesta situação. Já o livro considera sistemas onde há uma variação da massa.

No ultimo dia de aula da semana, após o término dos exercícios, iniciou a sexta etapa da sequência didática. O professor realizou uma revisão das etapas de modelização trabalhadas nos gases ideais, desde o momento em que foi proposto aos alunos solucionarem o problema: como o ar se comporta dentro da sala de aula em que os alunos estavam. O professor discutiu as abstrações necessárias para a construção do modelo, limite de validade do modelo e sua importância, o porquê das variáveis de estado que foram escolhidas para representar este modelo, além do que é um modelo, onde eles são usados, por que eles são utilizados, sua importância. Neste momento, nos poucos alunos que buscaram tirar algumas dúvidas, foi percebida uma maior dificuldade em entender o conceito de modelo e também em específico o modelo do gás ideal, isto se notou porque houve perguntas buscando a confirmação do professor dos seus entendimentos conceituais.

É importante ressaltar que apesar da não aplicação de todas as etapas da modelização propostas pela primeira vez por Hestenes (1987), para o desenvolvimento do modelo do gás ideal, estas etapas foram discutidas com os alunos.

4.5 Quinta semana

Nesta semana foram reservadas duas aulas de cada turma para aplicação da avaliação (anexo B). Ela continha seis questões tradicionais envolvendo a representação dos gases ideais que os alunos desenvolveram na segunda etapa de modelização, elaboradas pelo professor responsável pela turma. E duas questões voltadas para a modelização. A avaliação será comentada mais detalhadamente na análise, mas vale aqui ressaltar as reclamações apresentadas pelos alunos mesmos estando avisados do que poderia ser cobrado durante todo o período de revisão, em que repentinamente começaram a demonstrar preocupação, com perguntas a respeito da avaliação. Os alunos estranharam a primeira questão, pois a sua estrutura difere do estilo de avaliação teórica que estavam habituados. A respeito ainda da primeira questão, a professora das turmas havia comentado que eles já realizaram atividades em sala envolvendo o desenvolvimento de textos, mas não como avaliação. E na segunda questão praticamente todos reclamaram, porque o professor pesquisador não havia ensinado como os corpos caem, então porque isto estaria sendo cobrado, mostrando o fato dos alunos estarem acostumados a cobrança de questões semelhantes às discutidas em sala. Foi necessário explicar a segunda questão nas quatro turmas, colocando que não havia necessidade de se chegar à resposta, apenas escrevendo detalhadamente os passos que eles fariam para conseguir obtê-la. A avaliação pode ser vista no segundo anexo.

5 METODOLOGIA

Neste trabalho foram analisados os resultados dos alunos de uma das quatro turmas onde foi aplicada a sequência didática. A escolha desta turma foi devido ao maior número de autorizações dos alunos e seus pais, para a publicação dos resultados. Portanto dos 23 alunos desta turma que estiveram presentes nas aulas, 17 alunos autorizaram, mas como um deles não realizou a avaliação, apenas as avaliações de 16 alunos foram utilizadas.

A avaliação possuía seis questões. Quatro em um formato mais tradicional, elaboradas em conjunto com a professora da disciplina, onde os alunos deveriam aplicar a equação dos gases ideais e as leis de transformação isotérmica, isovolumétrica e isobárica. E duas específicas à modelização, cujas respostas serão analisadas neste trabalho.

A primeira pedia que os alunos descrevessem passo a passo, como foi possível explicar o comportamento do ar dentro da sala. Para auxiliar os alunos na construção da resposta, foram sugeridos sete tópicos além daqueles que os alunos considerassem interessantes. Os sete pontos que deveriam constar no texto que os alunos elaboraram foram:

- a) Quais perguntas foram levantadas e respondidas para que conseguíssemos explicar o comportamento do ar na sala? O que você conseguiu aprender a respeito do comportamento do ar nesse processo?

Esperava-se que os alunos descrevessem as discussões realizadas nas duas primeiras semanas da aplicação, as perguntas que eles realizaram e que foram sugeridas pela professora, para que pudessem ser levantadas todas as variáveis para descrever o comportamento do gás e as leis físicas envolvidas.

- b) Foi necessário fazermos idealizações? Se sim, quais foram às idealizações realizadas? Por que elas foram necessárias?

Neste tópico esperava-se que eles discutissem as idealizações que foram necessárias para a construção do modelo dos gases ideais, e que explicassem o quanto complexo é o comportamento dos gases para justificar as simplificações.

- c) O modelo construído vale para todos os gases reais em qualquer situação? Se não, quais os limites de validade do modelo dos gases ideais?

Aqui se esperava que eles discutissem os limites de validade estipulados para o modelo dos gases ideais, e sua importância. Sendo eles:

- O gás deve estar em equilíbrio térmico;
- Em condições de altas temperaturas e baixas pressões.

- d) Para que servem os modelos na física? Qual sua importância?

Eles deveriam expressar conhecer o significado do termo modelo na física e o porquê da sua utilidade.

- e) Como vocês formularam uma representação matemática para os gases ideais? Qual foi a contribuição da simulação para a construção dessa representação? Explique o que foi analisado com ela e como vocês a utilizaram para conseguir formular a equação dos gases ideais.

Esperava-se que eles falassem um pouco sobre como utilizaram a simulação e de que maneira ela contribuiu para que eles conseguissem ou não formular a equação para representar o modelo dos gases ideais.

- f) O que é modelização? Quais etapas de modelização foram realizadas até chegarmos à formulação matemática dos gases ideais? O que foi feito em cada uma delas de maneira geral? Qual era o objetivo de cada uma?

Aqui se esperava que eles mostrassem compreensão do termo modelização, descrevendo as etapas trabalhadas até obtermos a equação para representar o modelo e o que foi possível obter com elas.

- g) Alguma das etapas utilizadas na modelização foi deixada de lado? Se sim, quais? Você sabe explicar a importância delas?

Como foram discutidas todas as etapas de Hestenes para a construção do modelo, esperava-se que eles mostrassem que notaram que nem todas foram aplicadas pela professora e que explicassem a importância delas.

Na segunda questão, onde os alunos deveriam escrever como fariam para explicar como os corpos caem e para isso descrever detalhadamente todo o processo que seguiriam para responder esta pergunta visando construir para isso um modelo, não se esperava que eles utilizassem os nomes das etapas, mas que aplicassem o que foi realizado em sala para responder outras perguntas.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As análises realizadas foram divididas em duas subseções:

6.1 Resultados referente a primeira questão

Quatro alunos, 25% do total que realizaram a avaliação e autorizaram sua análise, deixaram a primeira questão em branco.

6.1.1 Sobre o papel das questões norteadoras

Dos 16 alunos analisados, 11 deles (68,7%) apontaram algumas perguntas que eles realizaram e que foram sugeridas pela professora, se aproximando dos objetivos, como mostram os trechos abaixo:

- “Foram questionadas/levantadas algumas perguntas: Do que é composto o ar desta sala? O ar está em equilíbrio térmico? As moléculas de ar estão preenchendo todo o espaço da sala? Que tipos de gases estão presentes nesta sala? A temperatura da sala influencia no comportamento dos gases?”;
- “... levantamos se o ar está em equilíbrio térmico ou não, levantamos também que o ar não é só composto por N_2 e O_2 ...”;
- “Sua temperatura é constante? E com o ar-condicionado? Depois de um tempo a temperatura do ar vai estar presente igual em todo o espaço?”;
- “Teve também perguntas em relação ao volume dentro da sala, em relação à velocidade do ar, se as moléculas colidem (se a uma colisão entre elas)”, entre outras.

Um dos alunos não escreveu as perguntas, apenas descreveu que houve um momento para elas - “Enquanto o tema gases ideais foi discutido em sala concluímos (quando respondemos as perguntas) que gases ideais são uma teoria dos físicos para interpretar gases reais (O_2 , H_2 ...)”- Pode se observar que ele coloca que com as perguntas foi possível construir uma teoria dos gases ideais e não um objeto conceitual, um modelo para representa-los. Pode-se perceber também através da resposta, que o aluno parece compreender a importância dos modelos, quando escreve que ele possibilita interpretar os gases reais.

Doze alunos (75%) comentaram as respostas das perguntas, escrevendo o que conseguiram apreender com a discussão, mostrando um bom entendimento, como mostram os trechos abaixo:

- “Primeiramente discutimos as características dos gases, sobre se ele ocupa todo o espaço, de que era composto com o ar da sala, se ele estava em equilíbrio térmico. Vimos que as colisões são perfeitamente elásticas e que a média da energia cinética é a mesma... se uma partícula tem uma energia cinética um pouco maior vai ter uma partícula com energia cinética um pouco menor, que o gás não ocupa todo o espaço...”;
- “A professora começou perguntando do que o ar era formado, aí respondemos várias coisas como oxigênio, poluição, hidrogênio, logo depois ela perguntou das distâncias das partículas e nos respondemos que era mais separado do que no estado sólido, porém nem tanto quanto líquido ai a professora perguntou se a temperatura influenciava em alguma coisa, respondemos que sim, pois quanto maior pressão maior a temperatura... e se fecharmos a sala toda estaria todo o espaço preenchido?... respondemos que não, pois mesmo que tivesse cheio de ar no meio das partículas estariam mais e mais espaços vazios...”.

Do total de alunos que responderam os pontos abordados acima, pode-se comentar que um deles parece ter entendido que as perguntas tiveram apenas o objetivo de deixar os alunos curiosos e pensativos. Como se observa no trecho em que escreveu -“Quando iniciamos o conteúdo “comportamento dos gases” logo foram feitas algumas perguntas para nos deixar curiosos e pensativos. Como os gases agem? Eles ocupam toda a sala? Com o ar-condicionado esse gás fica mais gelado?...” Também se pode notar que talvez ele não tenha compreendido o objetivo da discussão relevante ao ar condicionado para discutir se a sala ficaria ou não em equilíbrio térmico com ele. Além do que quando ele coloca como uma das perguntas “como os gases agem”, parece não compreender que o objetivo das outras questões é criar hipóteses para responder esta pergunta inicial.

Pode-se perceber das respostas formuladas pelos alunos o entendimento das perguntas como norteadoras de uma discussão sobre os gases presentes na sala, uma vez que neste momento não houve uma menção clara de seu papel na elaboração de hipóteses para o entendimento de um fenômeno.

6.1.2 Sobre as idealizações

Este item foi respondido por 7 alunos (43,7%). Destes 5 apontaram algumas idealizações discutidas em sala, como ilustram os trechos abaixo:

- “... Concluimos também que as moléculas dos gases ideais só se chocam frontalmente e é totalmente elástica, isto é, não se perde energia cinética.”;
- “... Precisamos desprezar, por exemplo, a força da gravidade, pois ela é muito pequena. Também tivemos que considerar as moléculas como “pontuais”.”;
- “... Geralmente os gases reais se enquadram nas condições de gás ideal. Isso requer:
 - Que o volume de cada partícula seja desprezível em relação ao volume de toda a massa gasosa;
 - Que as partículas se movimentem de acordo com a mecânica de Newton;
 - Que a quantidade de movimento no sistema seja preservada;
 - Que a energia cinética seja preservada.”;
- “... Foi necessário fazermos idealizações do tipo: ao invés de pensar no ar da sala, pensar no ar numa caixa. Reduzindo a escala e tornando o pensamento mais simples.”.

Observa-se com as respostas cima, que os alunos recordaram de poucas das idealizações realizadas. Deve-se ressaltar que algumas delas não fazem parte das idealizações necessárias para a construção do modelo ou não são idealizações.

Dois estudantes apontaram uma representação utilizada em sala sobre o comportamento das moléculas, o que pode indicar a validade do uso das idealizações apenas nesse contexto:

- “... Sim, das duas moléculas que eram as moléculas se chocando quando dois alunos jogavam elas na mesma direção, isso foi legal (a idealização), pois nos faz entender melhor a matéria...”;
- “... Fizemos idealizações sim, e até foram dois alunos na frente da sala fazer uma simulação com aspirais (se eu não me engano)...”.

Três alunos apresentaram comentários sobre as razões que levam as idealizações a serem necessárias. Um deles escreveu que as idealizações foram necessárias para simplificar os cálculos, o outro para ajudar no raciocínio. Apenas um aluno dá a entender que é devido à complexidade do gás:

- “... consideramos partículas puntiformes, ou seja, pontos, pois seria difícil considerar todos os tamanhos das partículas. Por isso que é importante fazermos idealizações, chamamos de gases perfeitos, e também desconsideramos as forças de atração e repulsão”.

Mostrando compreender a necessidade das idealizações.

6.1.3 Sobre os limites de validade de um modelo

Do total de análises da primeira questão 7 alunos (43,7%) discutiram se o modelo pode ser aplicado para qualquer gás. Observe alguns trechos das respostas dos alunos, colocados como exemplo:

- “O nosso modelo possui certos limites, para sua validação a temperatura tem que ser alta porém não pode passar do ponto de P.C para não liquefazer o gás, pois as partículas estarão mais distantes então as forças de atração são quase nulas.”;
- “... o modelo que criamos vale para todos os gases reais, porém eles tem que ser submetidos a grandes temperatura e pressões bem baixas.”;
- “Os modelos não valem para todos os gases reais se limitam aos gases perfeitos, pois eles tendem a se comportar da mesma maneira.”.

Observa-se pelas respostas que, de maneira geral, os que abordaram a aplicabilidade do modelo entenderam os limites de validade do modelo.

A respeito de quais são os limites de validade do modelo 6 alunos (37,5%) os citaram, como se observa em algumas das respostas abaixo que foram consideradas satisfatórias, apesar de não comentarem a respeito do equilíbrio térmico. São elas:

- “.. os gases reais não se comportam normalmente como gases perfeitos, apenas quando estão em baixa pressão e temperatura muito elevada.”;
- “Um gás real se comporta como gás ideal quando a pressão baixa e temperatura alta.”;
- “Compreendi dos gases ideais que estão fora do grupo dos gases reais e o que torna um gás real ideal são grandes diferenças de pressão e temperatura...”.

Apenas 3 alunos (18,7%) não apresentaram respostas satisfatórias em relação a algum dos tópicos citados acima, um deles escreve que os gases ideais não existem, portanto o modelo não serve para nada, o outro descreve o limite de validade como uma situação extrema em que o volume que contém o gás não comportaria a pressão aplicada e ainda há aquele que coloca os limites de validade do modelo como sendo o espaço que não pode ser infinito e a temperatura que não pode chegar ao zero absoluto. Então se pode concluir que oito alunos (50% do total), não apresentaram nada a respeito dos limites de validade.

6.1.4 Sobre a importância dos modelos na física

Sobre a importância dos modelos na física, por que o utilizamos, para que servem, sete alunos (43,7%) do total responderam. Destes, 4 deles pareceram não compreender direito a sua utilidade. Isto fica perceptível em suas respostas, já que dois deles escrevem que os modelos servem para criar simulações. Outro entende a importância dos modelos para deixar a física mais acessível aos alunos e não para possibilitar a aprendizagem dos fenômenos da

natureza, tendo os modelos como uma estratégia de ensino. E ainda há aquele que vê os modelos como serventia para explicar experimentos laboratoriais e não os fenômenos em geral.

6.1.5 Sobre o papel da simulação utilizada

Nove alunos (53,3%) escrevem a respeito do que analisaram com a simulação e qual era seu objetivo. Destes, 8 compreendem que ela foi utilizada para possibilitar a formulação matemática dos gases ideais, alguns com observações mais detalhadas que outros a respeito da análise das variáveis no simulador, mas todos responderam de maneira satisfatória. Alguns exemplos destas respostas são:

- “A partir do momento que iniciamos as simulações pelos computadores, conseguimos formular as representações matemáticas, já que lá conseguimos alterar as variáveis e ter uma noção de quais consequências.”;
- “Através dessa simulação obtemos uma equação: $PV=NRT$, pois observamos muitas opções como: transformação isotérmica (inversa), deixando a temperatura constante, a pressão iria aumentar e o volume diminuir, sendo $PV=$ constante, transformação isobárica, na qual a pressão é constante e a temperatura e o volume aumentam sendo $V/T=$ constante, direta...”.

Dos 8 alunos que compreendem o objetivo no qual a simulação foi utilizada, um deles admite não ter conseguido formular a equação dos gases ideais:

- “Eu não consegui chegar a representação matemática sozinho, nem com a ajuda da simulação. Nela, foram feitas simulações de transformações isotérmica, isobárica e isométrica. A partir disso pode-se analisar como as grandezas se alteram, sempre mantendo a constante universal dos gases. Foi visto que há grandezas proporcionais e inversamente proporcionais, e isso determina como será a fórmula”.

Apesar das dificuldades admitidas pelo aluno, nota-se que ele compreendeu o uso da simulação. Apenas um aluno dos 9 entendeu que a simulação foi utilizada para a construção do modelo, dando a entender que o modelo é somente a equação matemática formulada, o que aponta que este aluno não compreendeu bem os objetivos e o que foi realizado tanto na etapa descritiva da modelização, como na etapa de formulação do modelo. Do total de alunos analisados nesta questão apenas 3 deles escreveram como utilizaram a simulação para formular a equação matemática.

6.1.6 Sobre a modelização

Cinco alunos (31,3%) responderam o quê acreditavam significar o termo modelização. E destes, apenas 1 compreendeu se tratar do processo de construção do modelo. Quatro alunos apresentaram dificuldades. Podem-se citar alguns exemplos: um deles escreveu que a modelização deixada de lado foi a Gravidade, outro apontou a modelização como o ato de fazer idealizações do que pode ser algo. Um aluno afirmou que a modelização é o processo de construção do modelo dos gases ideais, o que parece dar a entender ser algo específico dos gases e depois ele aponta a modelização como o nome dado a etapa até a formulação conceitual do modelo matemático, dando a entender que as etapas de formulação, ramificação e validação não fazem parte da modelização. Isto pode ter acontecido pelo fato das etapas de Ramificação e validação não terem sido aplicadas em sala.

6.1.7 Sobre as etapas do processo

Três alunos (18,7 %) comentam a respeito das etapas que eles compreenderam terem sido trabalhadas em sala. Destes, um deles aponta que todas as quatro etapas, com exceção da validação, foram realizadas, indicando a

ramificação como o processo realizado na simulação. A provável confusão ocorreu devido a variação dos valores das variáveis. Outro aluno afirma que todas as etapas de modelização foram trabalhadas, enxergando a modelização como passos para provar algo, por exemplo, no segundo passo o simulador serviria para avaliar a validade do modelo, no terceiro seria formular a equação e no quarto provar o que foi feito. Isso pode indicar o não entendimento do papel da simulação dentro da sequência didática. Ainda há o aluno que compreendeu as etapas de modelização como as leis trabalhadas na simulação para chegar a equação, que para ele seria o modelo dos gases ideais, o que significa para o aluno que todas foram aplicadas.

Os demais alunos não comentam a respeito especificamente das etapas, mesmo deixando-as subentendidas no decorrer dos seus textos. Como por exemplo, nos trechos acima a respeito do uso da simulação, os alunos não escrevem a respeito do nome da etapa realizada (formulação), mas 53,3% do total, como analisado, a descreve. Todos os alunos optaram por escrever o texto na ordem da sequência aplicada nas aulas e com exceção dos alunos que encontraram dificuldades e que foram apontados acima, ou os que não compreenderam os objetivos de cada etapa, os demais textos descrevem as aulas do modo como foi realizada a modelização do gás ideal. E mesmo assim apenas 18,7% deles comentaram diretamente a respeito das etapas e fica evidente que mesmo estes não conseguiram relacioná-las aos momentos de aula.

6.2 Resultados referentes a segunda questão

No total de 16 alunos, 8 alunos (50%) responderam diretamente o porquê que os corpos caem de maneira tradicional, quando na verdade não se estava pedindo para que respondessem como eles caem, descrevendo o modelo pronto ou o analisando, mas sim como fariam para construir o modelo. Isto pode indicar que eles não conseguem aplicar o processo no entendimento de novos fenômenos, então preferiram somente responder o problema a ser solucionado realizando da maneira como estão habituados.

Quatro alunos (25%) responderam o que estava sendo pedido na questão. Destes 4, um deles apenas escreveu que utilizaria uma simulação, sem explicar para quê ou que tipo de simulação utilizaria. O outro levantou algumas hipóteses a respeito de como os corpos caem apontando fatores, o que ele acha que influenciariam na queda dos corpos, se aproximando da primeira etapa de modelização, como podemos perceber pela resposta abaixo:

- “A princípio um corpo cai por causa da gravidade.
Teoria:
-O peso do corpo influencia a velocidade da queda;
- A gravidade determina a queda;
- O tipo de objeto não importa;
- Temperatura também não;
- ?”

Os outros 2 alunos escreveram respostas satisfatórias. Utilizaram algumas das etapas de modelização na descrição de como realizariam para responder como os corpos caem, o que se percebe é que ambos inicialmente levantam hipóteses a respeito de quais os fatores que influenciariam na queda do corpo e citam tais hipóteses. Em seguida escrevem que verificariam através de experimentos se os fatores levantados realmente influenciam na queda, como se observa pelas respostas colocadas abaixo:

- “Elaboraria hipóteses sobre os fatores que influenciam a queda dos corpos em distintas situações. Os corpos caem com influencia de sua massa, da gravidade que atua sobre o corpo, a pressão atmosférica, altura de onde os corpos caem. Após levantar hipóteses realizaria experimentos com esses corpos para averiguar se realmente o que pensei tem relação. Faria as seguintes situações... Após o experimento tentaria formula (formulas) aplicadas a essas situações e realizaria exercícios para trabalhar essas questões e aprofundar o entendimento”;

- “Para explicar como os corpos caem eu iria ver se existe condições que os corpos caem, se a massa é desprezível ou não, a superfície de constato as forças que interagem com os corpos, se o atrito, vento forte, influencia. Depois eu iria fazer a ramificação, “ procurar um simulador de “corpos caindo” e testar tais condições citadas. Veria o que é desprezível, também teria que fazer idealizações pois é importante estabelecer uma igualdade, algo em comum. Veria a proporcionalidade de tais fatores. Feita a equação eu iria testar para ver se a minha equação estava correta.”.

Nota-se também através das respostas colocadas acima que um dos alunos escreveu que após o experimento formularia uma equação aplicada a situação e em seguida realizaria exercícios para aprofundar o problema, o que pode dar a entender uma possível ramificação do problema ou fornecer indicativos de um primeiro entendimento sobre o tratamento de fenômenos em uma outra perspectiva. Já o outro aluno citou que realizaria a etapa de ramificação do modelo utilizando um simulador com corpos caindo para verificar o que é desprezível. Mostrando uma confusão com os nomes das etapas. Mas o mais importante é que este aluno coloca que teriam que ser realizadas idealizações, verificando situações onde se observa um comportamento padrão nas quedas, analisar a proporcionalidade das variáveis, mostrando ter entendido alguns passos importantes para a construção de um modelo. Além disso, percebeu-se que ele se lembrou da etapa de validação do modelo, pois para finalizar acrescentou que a equação matemática formulada deveria ser testada, apesar de não apontar o modelo em questão, somente a equação matemática que o representa.

Finalmente, 4 deles (25% do total) deixaram em branco a questão, o que sugere que encontraram dificuldades para responder, ou não quiseram respondê-la. Esta dificuldade também aparece nas respostas dos alunos que fizeram, como colocado acima, e ela já era esperada, já que vários alunos tiveram contato com esse tipo de abordagem pela primeira vez. Alguns podem ter participado da sequência descrita por Santos (2014), que usou o processo de modelização para responder a pergunta “como os corpos caem?”. Além disso, a análise da segunda questão foi realizada apenas com 69,6% do total de alunos da turma que participaram do processo de modelização dos gases ideais, como já comentado.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho procurou-se verificar o aprendizado dos alunos com a utilização dessa nova abordagem, buscando identificar o entendimento das etapas de modelização de Hestenes (1987) já que através dela os alunos podem adquirir um conhecimento maior a respeito do papel dos modelos no entendimento dos diversos fenômenos. Para isso fez-se uso do modelo do gás ideal. Também se buscou verificar se eles conseguiriam utilizar a modelização para solucionar outros problemas.

Para cumprir esse objetivo foi proposta uma sequência didática que iniciou com a apresentação de um problema a ser solucionado: “Como é o comportamento do ar dentro da sala?”. Após a apresentação da questão foi realizada uma série de perguntas norteadoras para que os alunos refletissem sobre o fenômeno e apresentassem as suas primeiras hipóteses. Depois elas foram discutidas a fim de esclarecer alguns equívocos e abordar as variáveis, leis Físicas relevantes para a construção do modelo. A partir das questões levantadas e hipóteses discutidas aplicou-se a segunda etapa da sequência onde foram realizadas abstrações para descrever toda uma classe de gases e a partir delas construíram um modelo para o comportamento desses gases, dito gases ideais. Foram abordados nessa construção os limites de validade do modelo e a sua importância na resolução de problemas. Na terceira etapa da sequência proposta a professora explicou aos alunos o conceito de modelização e as etapas de modelagem, propostas por Hestenes (1987), iniciando a descrição do modelo. Os alunos discutiram a respeito de quais variáveis poderiam ser utilizadas para representar o comportamento dessa classe de gases. Após a escolha iniciou-se a quarta etapa da sequência proposta, a formulação do modelo. Ela decorreu com uma sequência de atividades com a simulação Propriedades dos gases, para que com ela os alunos conseguissem construir a equação dos gases ideais. Ao final foram discutidas as dificuldades e conclusões encontradas. Além disso, foram realizados alguns exercícios tradicionais utilizando a equação construída.

Para avaliar a sequência na avaliação foram propostas duas questões. A primeira tinha como objetivo verificar se os alunos compreenderam o processo de modelização aplicado ao estudo dos gases ideais que foi realizado em sala de aula, além de alguns conceitos e entendimentos relevantes, como por exemplo, o papel das idealizações no processo de modelização e a compreensão do significado do termo modelo além de sua importância na física. A segunda tinha como objetivo verificar se os alunos conseguiriam aplicar o que foi realizado em sala para solucionar outro problema, neste caso o dos corpos caindo.

A análise da primeira questão mostra que mais da metade dos alunos responderam de maneira satisfatória, pois discutiram as questões formuladas, o papel das idealizações e os limites de validade do modelo desenvolvido. Mas, a sequência não foi suficiente para promover um maior entendimento sobre o papel dos modelos na Física. Outro ponto é que os itens específicos sobre as etapas de modelização foram respondidos por poucos alunos, e os que responderam não conseguiram relacionar os nomes das etapas aos seus devidos processos. Mas deve-se ressaltar que a maioria aponta em suas respostas as etapas de modelagem de maneira indireta no decorrer do texto. Apenas 1 aluno apresentou o significado do termo modelização como o processo de construção de modelos.

A análise da segunda questão mostrou uma dificuldade da aplicação do processo em novos contextos. Como já colocado, apenas 25% deles tentaram resolvê-la utilizando o processo de modelização, os demais ou não fizeram a questão, ou tentaram diretamente responder por que os corpos caem. Respostas como estas, já eram esperadas, pois os alunos estão acostumados com uma abordagem tradicional. Isto fica evidente já no início, através de comentários a respeito do decorrer da aula e a insistência necessária da parte da professora para que os alunos participassem da primeira etapa da sequência proposta. Percebe-se que muitos desses alunos responderam satisfatoriamente vários dos itens da primeira questão, o que indica o entendimento do processo no tratamento dos gases, apesar de não terem conseguido aplicá-lo a outros contextos. Talvez a elaboração de atividades que envolvam partes do processo para o tratamento de outros fenômenos, acrescentando itens que remetessem a primeira questão, por exemplo, seja um caminho para a resolução desse problema.

No momento em que os alunos iniciaram a resolução dos exercícios, considerados tradicionais, do livro didático, apenas 30% apresentaram dúvidas no total das quatro turmas, mostrando uma preocupação em entender o que já havia sido discutido e inclusive comentando que o livro não aborda o assunto de maneira semelhante, nem traz tantos detalhes. Os outros 70% resolveram os exercícios sem questionamento e grande parte das suas respostas, dos exercícios conceituais, não estavam completas como o modo em que foram tratadas em sala. Isto pode ser um indicativo da importância que o livro didático tem para o aluno tornando necessária uma discussão a respeito de como o livro aborda o assunto, para que não haja confusão.

Podem-se fazer algumas sugestões para a continuação do trabalho.

Devem-se propor atividades para que os alunos apliquem o processo a outros fenômenos. Isso pode ser feito a partir de questões norteadoras para que os alunos possam através da reflexão formular hipóteses e propor novas perguntas. Outra sugestão seria uma sofisticação do modelo, que estava prevista para este trabalho, mas não foi possível aplicá-la devido ao tempo que se levou para a modelização dos gases ideais. Com ela podem-se abordar as forças interatômicas a partir do gráfico da força em função da distância entre as partículas e discutir as diferenças entre os resultados obtidos pelo modelo do gás ideal e o de um gás de esferas rígidas.

8 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, I. S., VEIT, E. A., MOREIRA, M. A. Atividades de Modelagem Computacional no Auxílio à Interpretação de Gráficos da Cinemática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 26, n. 2, p.179-184, junho de 2004.
- BALEN, O.; NETZ, P. A. Utilizando a modelagem e a simulação computacional no estudo dos gases ideais e reais. **In: XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 2005, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Física (SBF) / CEFET- RJ. 2005.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**. Ministério da Educação. Brasília. 2000.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**. Ministério da Educação. Brasília. 1999.
- BRASIL. **Diretrizes Curriculares para o Ensino Médio**. Câmara de Ensino Básico do Conselho Nacional de Educação. Resolução CEB n.3, 26 jun. 1998.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**. Ministério da Educação. Brasília. 1997.
- BREWE, E. Modeling theory applied: Modeling Instruction in introductory physics. **American Journal of Physics**, v. 76 (12), p. 1155-1160, Dezembro 2008.
- CHAMBERLAIN, J.; ULBRICH, I. Gas Properties Modular Homework Activity. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/contributions/view/3687>. Acesso em: 10, fev 2016.
- COSTA, R. G.; PASSERINO, L. M. 2008. Uma proposta pedagógica para o uso da modelagem computacional no curso de licenciatura em química do Cefet Campos. **RENOTE: revista novas tecnologias na educação**, V. 6 (2). P. 1-10. Dezembro 2008.
- HEBENSTREIT, J. Simulation et pédagogie, une rencontre du troisième type. **Gif Sur Yvette: École Supérieure d'Electricité**, 1987.
- HEIDEMANN, L. A.; ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. Ciclos de Modelagem: Uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29 (Especial n. 2), p. 965-1007, Outubro 2012.
- HESTENES, D. Toward a modelling theory of physics instruction. **American Journal of Physics**, v. 55 (5), p. 440-454, Maio 1987.
- HESTENES, D. Modeling software for learning and doing physics. **In: International Conference on Thinking Science for Teaching - the case of physics held in rome**, Rome, Italy, p. 22-27, 1994.
- HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. A modeling method for high school physics instruction. **American Journal of Physics**, v. 29 (7), p. 606-619, Julho 1995.
- HESTENES, D. Modeling Methodology for Physics Teachers. **In: Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education**, Arizona, 1996.
- HESTENES, D. Notes for a Modeling Theory of Science, Cognition and Instruction. **In: Proceedings of the 2006 GIREP conference: Modelling in Physics and Physics Education**, Arizona, 2006.
- KRAPAS, S.; QUEIROZ, G.; COLINVAUX, D.; FRANCO, C. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em Ensino de Ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 185-205, nov. 1997.

KWASNY, M. Gay-Lussac's Law Lab. Disponível em: < https://phet.colorado.edu/pt_BR/contributions/view/3236>. Acesso em: 10, fev 2016.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. D. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 77-86, jun. 2002.

MENEZES, L. C. de. Uma física para o novo ensino médio. **Física na Escola**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 6-8, out. 2000.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Everybody counts. Washington: National Academy of Sciences, 1989. p. 36.

PHET INTERACTIVES SIMULATIONS. Propriedade dos Gases. Disponível em: < https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/gas-properties >. Acesso em: 10, fev 2016.

SANTOS, I. M. **Uma Proposta de uso de Modelização no Ensino de Física com Turmas do Primeiro ano do Ensino Médio**. 2014. p. 105. Trabalho de conclusão de curso (Licenciado em Física) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24 (n. 2), Junho 2002.

ANEXO A

ATIVIDADES UTILIZANDO A SIMULAÇÃO PROPRIEDADES DOS GASES (PHET)

Agora que já conhece o funcionamento da simulação Propriedades dos Gases (PHET), já tem conhecimento das ferramentas que ela dispõe, espera-se que já saiba da função de cada uma, além de aspectos sobre limitações gerais, realize as atividades a seguir individualmente. Caso necessário algum esclarecimento solicite a ajuda da professora.

Analizando o comportamento de uma mistura de gases em diversas situações

1. Coloque uma quantidade moderada de gás dos dois tipos, em torno de 75 partículas leves e 75 pesadas, para dentro do recipiente. Sem variar qualquer um dos controles.

1.1. Quais informações gerais sobre a natureza desses gases pode-se extrair da representação da simulação? Descreva a imagem visual e não se esqueça de analisar as variáveis de estado.

Objetivo 1.1: Perceber todas as informações que eles podem retirar da simulação. Observar os tópicos que foram discutidos em sala. Aprendam a utilizar todas as ferramentas que ela dispõem. Tirem dúvidas a respeito dos limites da simulação e possíveis erros do próprio sistema, para evitar que isso atrapalhe nas atividades posteriores. Espera-se como uma boa resposta que eles anotem as medidas das variáveis de estado e descrevam de que forma elas parecem estar relacionadas. Que utilizem um desenho ou descrevam o que está sendo visto, a respeito do movimento das partículas, se colidem ou não e com o quê. Além de informações a respeito da velocidade de cada partícula, descritiva ou valores utilizando as ferramentas.

1.2. Descreva como cada uma das situações colocadas no quadro abaixo é, ou não é, representada na simulação. Para um segundo momento, analise após abrir a tampa do recipiente deixando sair em torno de 80% das partículas tidas anteriormente. Não se esqueça de fechá-la novamente antes de começar a preencher o quadro.

Dica: Analise todos os pontos com a caixa fechada e depois abra a caixa, deixe sair 80% das partículas e feche a caixa, para completar a segunda coluna.

SITUAÇÕES	Representação na Simulação	Representação na Simulação, após diminuir o número de partículas.
1. Partículas de gás estão separadas por distâncias relativamente grandes.		
2. As moléculas de gás estão constantemente em movimento aleatório e elas colidem (como bolas de bilhar) umas com as outras e com as paredes do recipiente.		
3. As moléculas de gás não são atraídas ou repelidas umas pelas outras.		

--	--	--

1.3. Observe o quadro e responda em qual dos dois momentos, número maior e em seguida menor de partículas, as situações acima são mais bem contempladas? E explique o porquê disso.

Objetivo 1.2 e 1.3: Quero que recordem da construção do modelo dos gases ideais, para que as respondam. Onde foi estipulado que as condições validas para o modelo, dentro dos seus limites de validade, onde os resultados obtidos seriam mais parecidos com a realidade quanto mais rarefeitos este gás estivesse. Na primeira situação, que percebam quanto menor o número de partículas num recipiente, maior será a distância entre elas, porque o gás se espalha por todo recipiente. Que observem na segunda situação que independente da distância entre as partículas haverá colisões, e que para uma mesma temperatura o intervalo entre uma colisão e outra será maior, quanto maior for a distância que terão que percorrer. Na terceira situação, por se tratar de uma simulação que se comporta de acordo com o modelo dos gases ideais, e que na etapa de construção do modelo foi discutido que dentro dos limites de validade poderíamos desconsiderar as forças de interação entre as partículas, e que as únicas forças que atuam sobre elas ocorrem durante as colisões, que não há dessa forma em nenhum dos dois momentos moléculas sendo atraídas ou repelidas umas pelas outras.

2. No quadro a seguir, anote a velocidade média das partículas de acordo com a situação e calcule sua energia cinética média, sendo a massa atômica do $N = 14u$ e do $He = 4u$ e $1u = 1,7 \times 10^{-27} Kg$. Mantenha o volume constante e utilize o mesmo número de partículas, entre 100 e 200 para cada situação. Utilize a temperatura T_2 para examinar uma mistura de partículas.

Dica: Não se esqueça de anotar as duas temperaturas. Para facilitar a atividade preencha uma coluna de cada vez. O sistema é dinâmico assim as velocidades irão flutuar, por isso, faça uma média com o valor mais alto e mais baixo que aparecer.

$$T_1 = \text{_____} K$$

$$T_2 = \text{_____} K$$

	SITUAÇÕES		
	Somente partículas de N_2	Somente partículas de Hélio	Mistura de partículas de Hélio e N_2
Número de Partículas (~100-200)			
Velocidade para T_1			
Energia cinética para T_1			
Velocidade para T_2			

Energia cinética para T_2			
-----------------------------	--	--	--

2.1. Compare o valor da energia cinética média de cada partícula de N_2 e de Hélio, nas duas situações em que estão separadas com temperatura T_1 . Elas possuem a mesma energia cinética? E suas velocidades são as mesmas? Compare também para a temperatura T_2 .

2.2. Compare as energias cinéticas médias para a mistura dos dois tipos de partículas, leve e pesada. Elas possuem as mesmas energias cinéticas médias de quando estavam sozinhas no recipiente com temperatura T_2 ? E suas velocidades, são as mesmas?

2.3. Analise as respostas das questões 2.1 e 2.2. Quais conclusões se podem tirar?

Objetivo 2, 2.1, 2.2 e 2.3: Que eles compreendam que a energia cinética média de cada partícula, independente do seu elemento será a mesma. E vejam que para isso ser verdade as partículas de maior massa terão que ter uma velocidade menor que as outras. Que observem que independente do gás estar misturado, ambas as partículas terão a mesma energia cinética média de quando isolados. Que a energia cinética média só dependerá da temperatura de equilíbrio térmico do sistema.

3. A atmosfera é composta de muitos gases em diferentes proporções e todos eles contribuem para a pressão atmosférica total. Use a simulação para explorar esta relação, testando combinações de gases leves e pesados. Para cada teste, anotar a sua medição e fazer a previsão antes de passar para a próxima linha do quadro.

Dica: Como os valores para a pressão oscilarão em torno de um valor médio, este deve ser anotado. Reinicie a simulação para realizar cada medida. Mantenha a temperatura como parâmetro constante.

	Medida da pressão para:	Previsão da pressão (maior do que, igual a, menos do que, duas vezes mais, metade da quantidade, etc.)
1	100 partículas de Hélio (He) $P_{He} =$	Pressão para 100 partículas de N_2 será _____ a pressão de Teste 1 .
2	100 moléculas de N_2 $P_{N_2} =$	Pressão para 200 partículas de N_2 será _____ a pressão de Teste 2 .
3	200 moléculas de N_2 $P_{N_2} =$	Pressão para 100 partículas de He e 100 partículas de N_2 será _____ a pressão de Teste 3.
4	100 moléculas de N_2 + 100 moléculas de Hélio (He) $P_{N_2+He} =$	Pressão para 200 partículas de N_2 e 100 partículas de Hélio (He) será _____ a pressão de Teste 4 .
5	200 moléculas de N_2 + 100	Pressão para 150 partículas de N_2 e 50 partículas de Hélio (He)

	moléculas de Hélio (He) $P_{N_2+He} =$	será _____ a pressão de Teste 5 .
6	150 moléculas de N_2 + 50 moléculas de Hélio (He) $P_{N_2+He} =$	Escreva a sua própria previsão:

3.1. Para cada teste, calcule a fração de cada gás (número de partículas desse tipo / partículas totais).

3.2. Encontre uma relação entre a fração e a contribuição da pressão de cada tipo de gás e escreva o que se pode interpretar com esse resultado.

Objetivo 3, 3.1 e 3.2: Que aprendam que independente da quantidade de gás de um elemento em uma mistura de gases a contribuição de ambas as partículas é a mesma. Ou seja, que a pressão dependerá do número de colisões na parede, independente de ser Hélio ou N_2 que está colidindo, estando o sistema em equilíbrio térmico. Compreendendo que quanto maior o número de partículas do meu sistema, maior será o número de colisões com as paredes, desta forma maior será a pressão. Então nesse caso a pressão total será a soma da pressão que as partículas de N_2 e que as de O_2 exercem nas paredes ($P_{total} = p_{N_2} + p_{He}$).

Analizando a relação entre pressão e volume – Lei de Boyle e Mariotte

1. Reinicie a simulação.

2. Clique no botão "Ferramentas de Medição". Clique na "Régua". As unidades de réguas estão em nanômetros (nm). Vamos usar a régua para nos dar uma medida estimada de volume. Use a régua para medir a largura da caixa, única medida que varia.

2.1. Quais são as graduações na régua?

2.2. Como se calcula o volume de uma caixa?

2.3. Sendo que nesse caso dois dos lados da caixa são fixos variando apenas a largura que pode ser medida com a régua, como fará para representar a variação do volume da caixa quando alteramos o valor da largura?

Objetivo 1, 2, 2.1, 2.2, 2.3: Que eles aprendam a utilizar a régua para fazer as medidas de volume. Que lembrem como calcular o volume, por exemplo, numa caixa, e como podem fazer isso para o caso da simulação que é duas dimensões. Como resposta, espero que respondam que a graduação da régua é 0,2nm, que o volume da caixa é $base \times altura \times profundidade$, e que no caso de um dos lados não variar e a profundidade de fato nem existir, por se tratar de uma simulação 2D, a variação do volume da caixa será representado como $V = b \times k$, sendo B a base que varia e $k = a \cdot p$, profundidade e altura que são sempre constantes. Desta forma conseguem obter a variação do volume hipotético.

3. Adicione gás no recipiente.

3.1. Quantas partículas de gás foram adicionadas ao recipiente?

3.2. Que tipo de gás foi adicionado?

3.3. Qual é a pressão do recipiente?

Objetivo 3, 3.1, 3.2, 3.3: Informar as condições iniciais do sistema.

4. Defina um valor para a temperatura e em seguida aperte o botão necessário para torná-la uma variável constante.

5. Diminua lentamente o volume do recipiente.

5.1. Inicialmente, o que acontece com a temperatura da caixa?

5.2. O que a simulação tem que alterar para que o recipiente mantenha a temperatura constante?

Objetivo 4, 5, 5.1: Observar qual variável se altera quando variamos o volume, já que a temperatura terá que se manter constante. Assim quando variarmos o volume veremos que a pressão variará também. Logo ambas devem se ajustar para manter a temperatura constante.

5.3. O que faz com que a pressão no interior do recipiente seja alterada?

5.4. Se você diminuir o volume do recipiente, como isso afetará a resposta à pergunta anterior?

5.5. E se você torná-lo maior? O que acontece com a pressão?

Objetivo 5.3, 5.4, 5.5: Perceber como a pressão e o volume estão relacionados e que tipo de relação é essa.

6. Reinicie a simulação efetuando os passos **3** e **4** novamente. Preencha o quadro abaixo variando o valor do volume e anote a pressão correspondente do medidor de pressão. Mantenha constante o número de partículas. Inclua as unidades no quadro e calcule os valores indicados nas outras colunas.

Dica: Se a temperatura escolhida para manter constante for muito alta e o número de partículas for muito elevado a caixa poderá se abrir, deve-se testar a situação até encontrar uma relação entre a temperatura e o número de partículas em que isto não ocorra. Reinicie até encontrá-la.

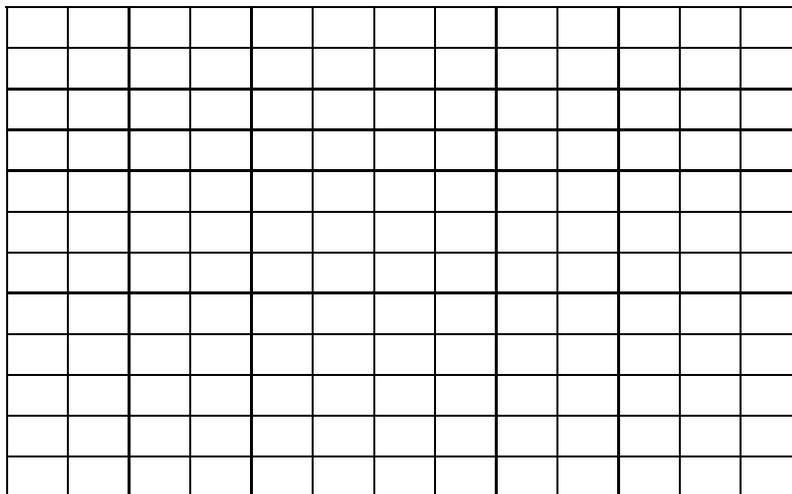
	Volume (V)	Pressão (P)	Calcule $k_1 = (PxV)$	Calcule $k_2 = \frac{P}{V}$
1				
2				
3				
4				

5				
6				

6.1. Qual é a variável independente?

6.2. Qual é a variável dependente?

7. No espaço quadriculado abaixo faça o gráfico com os dados do quadro acima.



7.1. Analise os dados e o gráfico e descreva a relação entre volume e pressão.

7.2. Qual valor indica corretamente a relação entre pressão e volume na tabela de dados? K_1 ou K_2 ? Justifique.

Objetivo: 6, 6.1, 6.2, 7, 7.1, 7.2: Através da tabela e análise da variável dependente (Pressão) e independente (volume), considerada uma resposta razoável mesmo sem a justificativa, o aluno poderá fazer o gráfico e chegar a relação entre pressão e volume utilizando a constante que mais se encaixa como tal.

7.3. Escolha quaisquer dois pontos do gráfico e calcule o valor da constante de acordo com a resposta da questão anterior. Mostre os cálculos.

1º Ponto

$V_1 =$

$P_1 =$

2º Ponto

$V_2 =$

$P_2 =$

8. Sabendo-se os valores da pressão e do volume de um gás em um determinado momento, pode-se prever a pressão (P_2) e o volume (V_2) de qualquer gás, desde que, seja mantida constante a temperatura antes e depois da transformação. Utilizando o exercício anterior escreva uma equação para as transformações isotérmicas.

9. Com base no resultado da atividade acima, o que aconteceria com a relação encontrada, caso se trabalhasse com uma mistura de gases?

Objetivo 7.3, 8, 9: Com a utilização da constante correta e verificando a validade desta constante com os cálculos de dois pontos do gráfico, $PxV=k$, o aluno poderá chegar à lei de Boyle e Mariotte. Verificando se entenderam que para uma mistura de gases a relação será a mesma, pois como observado anteriormente na questão 3, nos limites de validade dos gases ideais eles se comportam de maneira semelhante. Logo a equação ficaria:

$P_{mista} \cdot V_{mista} = \text{constante}$

Onde: $P_{mista} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$ (pressão exercida por cada elemento da mistura).

Analizando a relação entre volume e temperatura – Lei de Charles e Gay Lussac

1. Reinicie a simulação.

2. Primeiro, adicione um gás no recipiente.

2.1. Quantas partículas de gás foram adicionadas ao recipiente?

2.2. Que tipo de gás foi adicionado (leve ou pesado)?

3. Defina ao recipiente uma pressão constante.

3.1. Qual é a pressão do recipiente?

Objetivo 1, 2, 2.1, 2.2, 3, 3.1: Informar as condições iniciais do sistema.

3.2. O que acontece com o homem ao lado da caixa quando é definida a pressão como variável constante?

4. Aumente a temperatura do recipiente fornecendo calor para ele.

4.1. O que acontece com o volume do recipiente?

4.2. A pressão continua constante? Se sim, o que faz com que a pressão no recipiente se mantenha constante? Se não, por que isso aconteceu mesmo tendo selecionado a variável pressão para se manter constante.

Objetivo 3.2, 4, 4.1, 4.2: Perceber que se e fornecer muito calor para o sistema com a variável pressão constante, pelo fato do comprimento do recipiente ter um limite para aumentar, a pressão perderá não se manter constante, mesmo com a utilização dela como parâmetro constante. Dessa forma o aluno deverá perceber que deve tomar as providências necessárias para que isto não ocorra e influencie em seus resultados.

5. Reinicie a simulação, ejete algumas partículas, selecione a pressão como parâmetro constante, tomando o cuidado necessário para que a pressão se mantenha sempre constante e não ocorra a situação da questão anterior.

5.1 O que faz com que a pressão no recipiente se mantenha constante?

5.2. Para que o sistema aumente sua temperatura o que pode ser feito além de transmitir calor para o sistema através do controle e sem alterar o número de partículas? Justifique sua resposta. Isso é possível na simulação?

Objetivo 5, 5.1, 5.2: Perceber que as variáveis volume e temperatura, devem se ajustar para poder manter a pressão constante. Observar que as variáveis, temperatura e volume estão relacionados, e que tipo de relação é esta.

6. Reinicie a simulação. Ejete aproximadamente 100 partículas no recipiente com temperatura inicial de 300K, espere a pressão parar de variar e selecione a pressão para manter constante. Preencha o quadro de dados selecionando várias temperaturas que variem entre 100K e 300 K. Para medir o volume correspondente do recipiente utilize a régua, sendo que podem ocorrer oscilações, por isso meça seu valor médio. Calcule os valores indicados nas outras colunas.

	Temperatura (T)	Volume (V)	Calcule $k_1 = (V \times T)$	Calcule $k_2 = \frac{V}{T}$
--	-----------------	------------	---------------------------------	--------------------------------

1	300 K			
2				
3				
4				
5				
6				

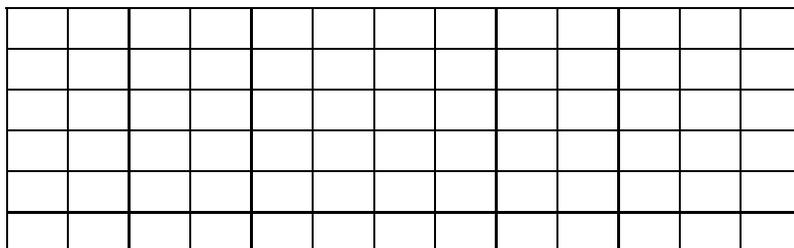
6.1. Qual variável é independente?

6.2. Qual variável é dependente?

6.3. Por que foram utilizadas apenas temperaturas baixas? Explique.

Objetivo 6.3: Percebam que foi a solução encontrada para que o comprimento do recipiente pudesse aumentar livremente, sem alterar os resultados.

7. No espaço quadriculado abaixo faça o gráfico com os dados da tabela acima.



7.1. Analise os dados e o gráfico e descreva a relação entre temperatura e volume.

7.2. Qual valor indica corretamente a relação entre volume e temperatura na tabela de dados ? k1 ou k2? Justifique.

Objetivo: 6, 6.1, 6.2, 7, 7.1, 7.2: Através da tabela e análise da variável dependente(volume) e independente(temperatura), considerada uma resposta razoável mesmo sem a justificativa, o aluno poderá fazer o gráfico e chegar a relação entre volume e temperatura utilizando a constante que mais se encaixa como tal.

7.3. Escolha quaisquer dois pontos do gráfico e calcule o valor da constante de acordo com a resposta da questão anterior. Mostre os cálculos.

1º Ponto

$$V_1 =$$

$$T_1 =$$

2º Ponto

$$V_2 =$$

$$T_2 =$$

8. Sabendo-se os valores da temperatura e do volume de um gás em um determinado momento, pode-se prever a temperatura (T_2) e o volume (V_2) de qualquer gás, desde que seja mantido constante a pressão antes e depois da transformação. Utilizando o exercício anterior escreva uma equação para as transformações isobáricas.

Objetivo 7.3, 8: Com a utilização da constante correta e verificando a validade desta constante com os cálculos de dois pontos do gráfico, $V \times T = k$ o aluno poderá chegar à lei de Charles e Gay Lussac.

Analizando a relação entre pressão e temperatura - Lei de Charles

1. Reinicie a simulação. Adicione gás no recipiente, mas lembre-se que o objetivo é construir uma representação matemática para os gases ideais, então nossa temperatura deve ser relativamente alta e nossa densidade baixa.

1.1. Quantas partículas de gás foram adicionadas ao recipiente?

1.2. Que tipo de gás foi adicionado (leve ou pesado)?

1.3. Qual a temperatura inicial das partículas adicionadas?

Objetivo 1, 1.1, 1.2, 1.3: Informar as condições iniciais do sistema.

2. Defina ao recipiente um volume constante e não altere mais a quantidade de gás dentro dele.

2.1. Assim que selecionou o volume como variável constante, o que aconteceu com a caixa?

Objetivo 2, 2.1: Perceber o que é necessário que ocorra as variáveis de estado para manter constante a pressão.

3. Antes de fornecer calor para o sistema, deve-se lembrar que o gás mais o recipiente, após se estabilizar, estará em equilíbrio térmico, não trocando calor com o ambiente a não ser através do botão que regula a temperatura, cessando-o após o seu uso.

3.1. Em que unidade a temperatura do sistema é mostrada?

3.2. Qual a relação entre Kelvin e graus Celsius?

3.3. Qual é a temperatura do sistema?

3.4. Qual a pressão?

3.5. Com qual unidade a pressão no simulador é medida?

3.6. Com quais outras unidades, que não aparece na simulação, pode-se medir a pressão? E qual a relação entre elas?

Objetivo 3, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6: Além de fornecer os novos dados iniciais do sistema, relembrar as unidades de temperatura e pressão e as conversões de unidades.

4. Forneça calor para o sistema.

4.1. O que acontece com o número de colisões entre as moléculas e a parede do recipiente?

4.2. No final, como é que esta alteração afeta a pressão do recipiente?

4.3. Qual é a nova pressão?

5. Diminua a temperatura do sistema.

5.1. O que acontece com o movimento das partículas? Utilize as ferramentas disponíveis para analisar.

5.2. O que ocorreu com a pressão do sistema?

5.3. Qual pressão está marcando no medidor?

Objetivo4, 4.1, 4.2, 4.3, 5, 5.1, 5.2, 5.3: . Observar que as variáveis, temperatura e pressão estão relacionadas, e que tipo de relação é esta. Além de compreender que a temperatura do sistema fornece informações a respeito das velocidades das partículas.

6. Preencha o quadro, selecionando várias temperaturas e anote a pressão correspondente do medidor de pressão. Reinicie a simulação para cada medida e mantenha constante o número de partículas, para que todas as situações tenham as mesmas condições iniciais. Escolha uma ampla gama de temperaturas. Inclua as unidades na tabela e calcule os valores indicados nas outras colunas.

Dica: Dê preferência para um número de partículas em torno de 100 partículas, para evitar grandes oscilações nas medidas de pressão.

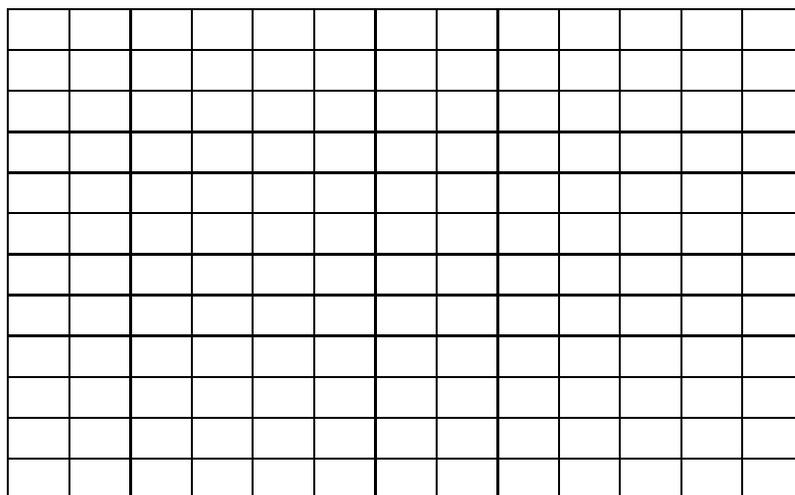
	Temperatura (T)	Pressão (P)	Calcule $k_1 = (PxT)$	Calcule $k_2 = \frac{P}{T}$
1	300 K			
2				
3				

4				
5				
6				

6.1. Qual variável é independente?

6.2. Qual variável é dependente?

7. No espaço quadriculado abaixo faça o gráfico com os dados da tabela acima.



7.1. Analise os dados e o gráfico e descreva a relação entre temperatura e pressão.

7.2. Qual valor indica corretamente a relação entre pressão e temperatura na tabela de dados ? k_1 ou k_2 ? Justifique.

Objetivo: 6, 6.1, 6.2, 7, 7.1, 7.2: Através da tabela e análise da variável dependente (pressão) e independente (volume), considerada uma resposta razoável mesmo sem a justificativa, o aluno poderá fazer o gráfico e chegar a relação entre temperatura e pressão utilizando a constante que mais se encaixa como tal.

7.3. Escolha quaisquer dois pontos do gráfico e calcule o valor da constante de acordo com a resposta da questão anterior. Mostre os cálculos.

1º Ponto

$$P_1 =$$

$$T_1 =$$

2º Ponto

$$P_2 =$$

$$T_2 =$$

8. Sabendo-se os valores da pressão e temperatura de um gás em um determinado momento, pode-se prever a pressão (P_2) ou a temperatura (T_2) de qualquer gás, desde que seja mantido constante o volume e quantidade de gás antes e depois da transformação. Utilizando o exercício anterior, escreva uma equação para as transformações isovolumétricas.

Objetivo 7.3, 8: Com a utilização da constante correta e verificando a validade desta constante com os cálculos de dois pontos do gráfico, $\frac{P}{T} = k$ o aluno poderá chegar à lei de Charles.

Analise as respostas das questões anteriores

1. Preencha o quadro de acordo com as análises anteriores e o que foi discutido até aqui.

Sugestão: Um par de variáveis é diretamente proporcional quando variar da mesma maneira, quando um aumenta o outro aumentará também. Um par de variáveis é inversamente proporcional quando eles variam em sentidos opostos, um aumenta e o outro diminui.

RELAÇÃO	Relação direta ou indireta?	Parâmetro constante?	Qual lei?	Justifique as respostas de forma breve
V e P para T constante				
V e T para P constante				
T e P para V constante				
Número de partículas e V para P e T constante				

2. Analisando a tabela, formule uma equação, representação matemática para os gases ideais, onde todas essas variáveis se relacionam.

Objetivo 1, 2: O objetivo é que com preenchimento do quadro o aluno relembre os aspectos mais relevantes para o nosso objetivo, que é a formulação de uma representação matemática que represente o modelo dos gases ideais, construído com os alunos na primeira etapa. E que a sequência de atividade e as leis de Boyle e Marriote, Charles, Gay-Lussac e Avogadro colocadas em forma de esquema neste quadro o ajude a formulá-la.

ANEXO B**AVALIAÇÃO DE FÍSICA**

1ª Questão: Descreva em forma de texto, passo a passo, como conseguimos explicar o comportamento do ar dentro da sala. Em sua resposta devem aparecer os tópicos abaixo, além do que você achar interessante.

- a) Quais perguntas foram levantadas e respondidas para que conseguíssemos explicar o comportamento do ar na sala? O que você conseguiu aprender a respeito do comportamento do ar nesse processo?
- b) Foi necessário fazermos idealizações? Se sim, quais foram às idealizações realizadas? Por que elas foram necessárias?
- c) O modelo construído vale para todos os gases reais em qualquer situação? Se não, quais os limites de validade do modelo dos gases ideais?
- d) Para que servem os modelos na física? Qual sua importância?
- e) Como vocês formularam uma representação matemática para os gases ideais? Qual foi a contribuição da simulação para a construção dessa representação? Explique o que foi analisado com ela e como vocês a utilizaram para conseguir formular a equação dos gases ideais.
- f) O que é modelização? Quais etapas de modelização foram realizadas até chegarmos à formulação matemática dos gases ideais? O que foi feito em cada uma delas de maneira geral? Qual era o objetivo de cada uma?
- g) Alguma das etapas utilizadas na modelização foi deixada de lado? Se sim, quais? Você sabe explicar a importância delas?

2ª Questão: Como você faria para explicar como os corpos caem? Descreva detalhadamente todo o processo que você seguiria para conseguir responder esta pergunta, visando à construção de um modelo.