UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS BARRA DO GARÇAS
PROGRAMA DE MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 03

KLEUBER RODRIGUES FERREIRA MARTINS

ESTUDO DE PROCESSOS TERMODINÂMICOS DE UM GÁS IDEAL MEDIANTE SUA DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA: UMA PROPOSTA UTILIZANDO O AMBIENTE 3D VPYTHON

Barra do Garças - MT

2025

KLEUBER RODRIGUES FERREIRA MARTINS

ESTUDO DE PROCESSOS TERMODINÂMICOS DE UM GÁS IDEAL MEDIANTE SUA DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA: UMA PROPOSTA UTILIZANDO O AMBIENTE 3D VPYTHON

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, na Universidade Federal de Mato Grosso -Campus Universitário do Araguaia-Polo Barra do Garças, para obtenção de Título de Mestre em Ensino de Física.
Orientador: Dr. Fabrizio Myaki Alves

Barra do Garças - MT

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

M386e Martins, Kleuber Rodrigues Ferreira.
Estudo de processos termodinâmicos de um gás ideal mediante sua descrição microscópica [recurso eletrônico] : Uma proposta utilizando o ambiente 3d Vpython / Kleuber Rodrigues Ferreira Martins. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 159 f., il. color., pdf). -- 2025.

Orientador: Fabrizio Myaki Alves.
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, Pontal do Araguaia, 2025.
Modo de acesso: World Wide Web: https://ri.ufmt.br.
Inclui bibliografia.

1. Termodinâmica. 2. VPython. 3. Simulação. 4. Gases. 5. TDICs. I. Alves, Fabrizio Myaki, *orientador.* II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Estudo de processos termodinâmicos de um gás ideal mediante sua descrição microscópica: uma proposta utilizando o ambiente 3d vpython

AUTOR: Kleuber Rodrigues Ferreira Martins

Dissertação defendida aprovada em 17 de abril de 2025.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. PROFESSOR DOUTOR FABRÍZIO MYAKI ALVES (Presidente da banca e orientador) INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO/ICET/CUA/BARRA DO GARÇAS

2. PROFESSOR DOUTOR ADELLANE ARAUJO SOUSA (Membro interno) INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO/ICET/CUA/BARRA DO GARÇAS

3. PROFESSOR DOUTOR ELVIS LIRA DA SILVA (Membro externo) INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO

GROSSO/IF/CUIABÁ

Barra do Garças, 17 de abril de 2025.

Documento assinado eletronicamente por **FABRIZIO MYAKI ALVES**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 24/04/2025, às 10:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .

Documento assinado eletronicamente por **ADELLANE ARAUJO SOUSA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 24/04/2025, às 17:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .

Documento assinado eletronicamente por **ELVIS LIRA DA SILVA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 28/04/2025, às 15:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .

Documento assinado eletronicamente por **Kleuber Rodrigues Ferreira Martins**, **Usuário Externo**, em 07/05/2025, às 23:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **7842019** e o código CRC **56FC07C8**.

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Cícero Rodrigues Martins e Maria de Fátima Martins, por todo amor, zelo e educação a mim dedicados e que me propiciaram a base de meus princípios e condutas ao longo de minha existência. Vocês foram e a inspiração maior de minhas lutas, que me trouxeram até aqui.

AGRADECIMENTOS

Elevo primeiramente meu agradecimento a Deus, de onde advém a verdadeira ciência e sabedoria, pela minha vida e por todas as lutas, superações e vitórias galgadas em minha jornada acadêmica.

Meus agradecimentos sinceros e afetivos a minha família, pelo apoio irrestrito aos meus objetivos e sonhos. Aos meus filhos Láyza Rodrigues Martins Ferreira e Krystian Ferreira Martins, por serem molas propulsoras nesta caminhada. Agradeço ainda, de forma especial, a minha esposa Karynni Cunha Ferreira Martins, pelo apoio irrestrito nesta minha jornada, pois incansavelmente me incentivou a realizar este meu sonho, seja de forma direta e indiretamente desde o primeiro momento.

Agradeço ao meu orientador Dr. Fabrízio Miaki Alves, pela parceria e acompanhamento na orientação deste trabalho.

Aos meus professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UFMT – Campus do Araguaia Polo Barra do Garças, agradeço por generosamente dividirem conosco seus conhecimentos e nos incentivarem a ser nossas melhores versões enquanto profissionais da educação.

Agradeço finalmente, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pelo apoio e viabilização deste trabalho.

RESUMO

O mundo atual nos apresenta um contexto em que a tecnologia é crescente e dominante, e é parte integrante e ativa desta realidade que recebemos nas escolas, como nossos alunos: crianças, jovens e adolescentes cada vez mais tecnológicos. Isso tem nos imposto, no contexto educacional, crescentes desafios e o aprimoramento de nossas práticas, nos adequando, a cada dia, a esta realidade e as necessidades por ela impostas. Assim, faz-se necessário, que consolidemos nossa prática docente, utilizando as Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs), para envolver e atrair nossos alunos para que se engajem em um processo de aprendizado que seja verdadeiramente significativo. O Ensino da Física no Ensino Médio, precisa estar então, associado intimamente a estas novas práticas, que tem se mostrado mais eficientes do que as metodologias convencionais. Portanto, este trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação de um produto educacional voltado para o ensino de Física no Ensino Médio, utilizando simulações computacionais desenvolvidas com a ferramenta VPython. O objetivo é investigar como o uso de simulações interativas pode contribuir para a compreensão de conceitos físicos, promovendo uma aprendizagem mais significativa e próxima das realidades experimentais. A abordagem proposta visa explorar características complexas de maneira visual e dinâmica, permitindo aos estudantes modelar e analisar sistemas físicos de forma intuitiva. Os resultados obtidos foram avaliados através de questionários, observações de aula e desempenho dos alunos em atividades práticas. A análise dos dados revelou um aumento na especificação e na compreensão conceitual dos estudantes, indicando que o uso de simulações em VPython pode ser uma ferramenta extremamente eficaz no ensino de Física e particularmente no processo de ensino-aprendizagem da Termodinâmica e suas especificidades.

Palavras-chave: Termodinâmica; Gases Ideais; TDICs; Simuladores Virtuais; Vpython 3D; Ensino de Física; Ensino Médio.

ABSTRACT

The current world presents us with a context in which technology is growing and dominant, and is an integral and active part of this reality that we receive in schools, as our students: children, young people and teenagers who are increasingly technological. This has imposed on us, in the educational context, increasing challenges and the improvement of our practices, adapting ourselves, every day, to this reality and the needs imposed by it. Therefore, it is necessary that we consolidate our teaching practice, using Digital Information and Communication Technologies (TDICs), to involve and attract our students so that they engage in a learning process that is truly meaningful. The Teaching of Physics in High School, therefore, needs to be closely associated with these new practices, which have proven to be more efficient than conventional methodologies. Therefore, this work presents the development and application of an educational product aimed at teaching Physics in High School, using computer simulations developed with the VPython tool. The objective is to investigate how the use of interactive simulations can contribute to the understanding of physical concepts, promoting a more meaningful learning experience that is closer to experimental realities. The proposed approach aims to explore complex characteristics in a visual and dynamic way, allowing students to model and analyze physical systems intuitively. The results obtained were evaluated through questionnaires, classroom observations and student performance in practical activities. Data analysis revealed an increase in students' specification and conceptual understanding, indicating that the use of simulations in VPython can be an extremely effective tool in teaching Physics and particularly in the teaching-learning process of Thermodynamics and its specificities.

Keywords: Thermodynamics; Ideal Gases; TDICs; Virtual Simulators; Vpython 3D; Physics Teaching; High School.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ciclo da Experiência Kellyana 25
Figura 2- Transformação Isobárica 34
Figura 3-Transformação Isotérmica 36
Figura 4-Transformação Isovolumétrica 37
Figura 5- Compressão adiabática, com pistão movendo-se para baixo 38
Figura 6- compressão adiabática, com pistão movendo-se para cima 39
Figura 7- Gás ideal 40
Figura 8- Máquina térmica 42
Figura 9- Representação do Ciclo Termodinâmico 45
Figura 10- Ciclo de Carnot 47
Figura 11- Simulador do gás ideal mostrando o sistema em dois momentos de temperaturas diferentes. 50
Figura 12- Simulador do gás ideal mostrando o sistema em dois momentos de temperaturas diferentes (2) 51
Figura 13- Processo Isotérmico 52
Figura 14- Processo Isobárico 53
Figura 15- Processo Isovolumétrico 55
Figura 16- Dinâmica de Apresentação do tema 62
Figura 17- Explanação sobre as palavras chaves do tema 63
Figura 18- Aula expositiva sobre átomos, molécula e matéria 65
Figura 19- Mapas conceituais elaborados pelos alunos 66
Figura 20- Mapas conceituais elaborados pelos alunos (2) 66
Figura 21- Modelo de um motor à vapor 67
Figura 22- Atividade Quiz Kahoot 68
Figura 23- Atividades experimentais no laboratório de Física. 69
Figura 24- Apresentação do ambiente Vpython 71
Figura 25- Aula de apresentação do simulador 71
Figura 26- Simulando o número de colisões. 72
Figura 27- Simulando colisões com alteração de temperatura 73
Figura 28- Simulando colisões com alteração de temperatura. (2) 74
Figura 29- Simulando colisões com alteração no pistão. 75
Figura 30- Simulando colisões com alteração no pistão (2). 76
Figura 31- Aula utilizando o simulador. 77
Figura 32- Simulação de transformação isobárica. 78
Figura 33- Simulação de transformação isotérmica. 79
Figura 34- Simulação de transformação isovolumétrica. 80
Figura 35- Realização de atividade com o simulador. 81
Figura 36- Gráfico do desempenho dos estudantes no pré-teste 88
Figura 37- Gráfico do desempenho dos estudantes no pós-teste. 90

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13
1.1 Objetivos 17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 18
2.1 Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) 18
2.2 A importância das TDICs no ensino de Física 18
2.3 As TDICs utilizadas no ensino de Física 20
2.4 A Importância da Experiência na Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly 23
2.4.1 Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel e Kelly 26
3. TERMODINÂMICA 28
3.1 Lei zero da Termodinâmica 29
3.2 Leis da Termodinâmica 30
3.2.1 Primeira Lei 31
3.2.2 Segunda Lei 32
3.3 Transformações Termodinâmicas 33
3.3.1 Transformações gasosas 33
3.3.2 Transformação isobárica 33
3.3.3 Transformação Isotérmica 35
3.3.4 Transformação isovolumétrica 36
3.3.5 Transformação adiabática 37
3.3.6 Gás ideal 39
3.3.7 Máquinas Térmicas 41
3.3.8 Motores a combustão 43
3.3.9 Ciclo Termodinâmico 44
3.3.10 Teorema de Carnot 46
3.3.11 Ciclo de Carnot 46
4. PRODUTO EDUCACIONAL 48
4.1 Temperatura 49
4.2 Pressão 50
4.3 Processo isotérmico 52
4.4 Processo isobárico 53
4.5 Processo isovolumétrico 54
5. METODOLOGIA 56
5.1 Tipo de Método 56
5.2 Local do Estudo 56
5.3 População Alvo e Amostra 57
5.4 Ferramentas 57
5.5 Procedimentos e aplicação do Ciclo Kellyano 57
6. APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL 60
6.1 Antecipação 61
6.2 Investimento 64
6.3 Encontro 65
6.4 Validação 70
6.5 Revisão Construtiva 81
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 82
7.1 Aplicação do pré-teste 85
7.2 Aplicação do pós-teste 88
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS 91
REFERÊNCIAS 94
PRODUTO EDUCACIONAL 101
1. APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL 108
2. AS TDICS, O CICLO DE EXPERIÊNCIA E A APRENDIZAGEM SIGNFICATIVA 110

3. A IMPORTÂNCIA DA EXPERIÊNCIA NA TEORIA DOS CONSTRUTOS PESSOAIS DE GEORGE KELLY 112
4. AS ETAPAS NO CICLO DA EXPERIÊNCIA KELLYANA 114
5. CONCLUSÃO – VANTAGENS NO USO DO SIMULADOR 117
5.1 Vantagens sobre o uso do Vpython: 117
5.1.1 Visualização Dinâmica dos Conceitos: 117
5.1.2 Engajamento e Motivação: 117
5.1.3 Desenvolvimento de Habilidades Computacionais: 117
5.1.4 Aplicação Prática dos Conhecimentos: 117
5.1.5 *Feedback* e Avaliação Imediata: 118
6. DESCRIÇÕES DOS PROCESSOS TERMODINÂMICOS DE UM GÁS IDEAL MEDIANTE SUA DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA: UMA PROPOSTA UTILIZANDO O AMBIENTE 3D VPYTHON 119
6.1 Transformações gasosas 119
6.1.1 Transformação isobárica 121
6.1.2 Transformação Isotérmica 123
6.1.3 Transformação isovolumétrica 126
APÊNDICE 127
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO PARA APLICAÇÃO DO PRÉ-TESTE 128
APÊNDICE B - ATIVIDADE 2 130
APÊNDICE C - ATIVIDADE 3 132
APÊNDICE D - ATIVIDADE 4 135
APÊNDICE E - ATIVIDADE 5 138
APÊNDICE F - GUIA PARA ACESSO E EXECUÇÃO DOS CÓDIGOS 141
APÊNDICE G - CÓDIGOS DO PRODUTO EDUCACIONAL 145
Código 1 145
Código 2 150

1. INTRODUÇÃO

A Física na Educação Básica enfrenta uma crise significativa. A falta de professores preparados, as más condições de trabalho, a quantidade reduzida de aulas e a perda progressiva da identidade da Física no currículo contribuem para essa situação. Além disso, o ensino da Física, na educação contemporânea, favorece a aprendizagem mecânica de conteúdos desatualizados. Diante desse cenário, é imperativo buscar soluções imediatas (Moreira, 2017).

No ensino médio, os alunos estudam Física da primeira à terceira série, cobrindo uma ampla gama de conteúdos que vão da mecânica ao eletromagnetismo e, raramente, a física moderna e contemporânea. No entanto, a avaliação dos resultados de aprendizagem revela carências crônicas na preparação pré-universitária desses alunos (Costa; Barros, 2019).

O iniciar os estudos no Ensino Médio, os conteúdos de Física se tornam mais detalhados e tratados de forma separada. Com frequência, ao ingressarem no Ensino Médio, os alunos se deparam com professores que não possuem a formação profissional adequada para lecionar física, o que agrava a situação, pois esses docentes tendem a enfatizar exageradamente os cálculos, tornando a disciplina excessivamente matematizada e difícil de ser compreendida. Além disso, um fator importante que contribui para a dificuldade dos alunos em aprender física é a carga horária reduzida. Em muitas ocasiões, há poucas aulas semanais, o que impede a cobertura adequada dos conteúdos conforme planejado no currículo escolar, comprometendo ainda mais a formação dos alunos (Kochan; Stacheski, 2020).

Moreira (2017) destaca que no século XXI, a Física ensinada ainda parece presa ao século XIX. A melhoria das condições de trabalho dos professores e a valorização desses profissionais constituem questões políticas urgentes. Portanto, este panorama apresentado revela que diversos problemas identificados no ensino de Física no Brasil não são exclusivos de uma época específica, mas sim características atemporais do ensino das ciências físicas e naturais no país: o método expositivo, a dependência excessiva do livro didático, a ausência de prática experimental, currículos desatualizados e descontextualizados, o reduzido número de aulas, a insuficiente profissionalização docente, o enciclopedismo, a sobrecarga de trabalho e a falta de reconhecimento social e salarial do magistério (Costa; Barros, 2019).

O processo de aprendizado praticado em diversas escolas do ciclo básico exige que os estudantes se concentrem em tarefas nem sempre prazerosas, durante períodos cada

vez mais longos. Esses desafios, que muitas vezes resultam em frustrações, dependem mais da perseverança dos alunos, da motivação e da capacidade de apreender informações do que do sucesso imediato na realização das tarefas (Costa; Barros, 2019).

No caso do ensino de Física, tais problemas se intensificam devido ao desinteresse dos alunos e à insuficiência do aprendizado em sala de aula. Tal aprendizado deveria ser complementado com atividades experimentais, mas a falta de equipamentos adequados nos laboratórios escolares torna isso inviável (Ribeiro, 2019).

A referida disciplina deve ser abordada de maneira abrangente, conforme orientam os parâmetros curriculares nacionais. Mas as limitações na aprendizagem dos conteúdos de Física, como a falta de fundamento matemático e a dificuldade interpretativa dos enunciados das questões, são destacadas nas pesquisas como obstáculos significativos. Essas dificuldades merecem uma atenção especial de pedagogos e professores, conforme aponta Araújo (2015, p.13).

Dessa forma, no cenário educacional contemporâneo, a busca por métodos inovadores de ensino que consigam engajar os estudantes e facilitar a compreensão de conceitos complexos é essencial. A termodinâmica, um ramo fundamental da física que estuda calor, trabalho, energia e as leis que governam suas interações, é um exemplo clássico de área que apresenta desafios significativos para o entendimento dos alunos, porquanto, a abordagem tradicional baseada apenas em aulas teóricas e textos didáticos muitas vezes não consegue transmitir a complexidade e a dinâmica dos fenômenos envolvidos de maneira eficaz.

Assim, ressalta-se que o Mestrado Profissional em Ensino de Física é fundamental no aprimoramento do processo de ensino-aprendizagem dessa disciplina. Seu enfoque prático e teórico prepara os professores para enfrentar os desafios do ensino de conceitos complexos de física de forma acessível e envolvente. Através de metodologias inovadoras e uso de tecnologias educacionais, esse mestrado capacita educadores a aplicarem abordagens criativas que despertam o interesse dos alunos e facilitam a compreensão dos fenômenos físicos, contribuindo significativamente para a melhoria do cenário educacional em física.

Diante desta necessidade, apresenta-se neste produto educacional a utilização de simulações em 3D com VPython, uma ferramenta que não só facilita a visualização dos fenômenos termodinâmicos em tempo real, mas também engaja os alunos através de atividades interativas. Este recurso didático molda-se pelo Ciclo de Experiência de Kelly (CEK), proporcionando uma sequência didática detalhada e organizada para garantir uma aprendizagem incremental e contextualizada.

Nossa proposta se destaca por suas principais características e vantagens, tais como a visualização dinâmica, a qual permite que os alunos observem os fenômenos termodinâmicos de maneira concreta e interativa. Oferece uma introdução prática à programação em Python, incrementando o leque de habilidades dos estudantes; permite que os conceitos abstratos sejam aplicados de maneira prática, facilitando a consolidação do aprendizado. E ainda, proporciona um meio para que alunos e professores obtenham feedback instantâneo sobre o progresso e as dificuldades encontradas.

Essa proposta inovadora de implementar a tecnologia com o ensino complexo de Física é corroborado por Moreira (2017) que menciona que para ensinar Física de maneira eficaz, é necessário também incorporar as tecnologias de informação e comunicação, bem como aspectos epistemológicos, históricos, sociais e culturais ao ensino dessa disciplina. Apesar dos desafios, ensinar física pode ser apaixonante, contanto que se garantam melhores condições de trabalho para os professores e se abandonem métodos ultrapassados, como o ensino focado em testagens e o uso exclusivo do quadro-de-giz e dos livros-texto (Moreira, 2017).

Para compreender a importância dessa abordagem, é fundamental considerar que o processo de ensino e aprendizagem é composto por duas partes: ensinar como uma atividade e aprender como a realização de uma tarefa específica. Essa dualidade ressalta a necessidade de inovações que facilitem a internalização de conceitos complexos, como os da Física. Nesse contexto, é vital que a busca por inovação acompanhe a superação das dificuldades enfrentadas por professores e alunos do Ensino Médio em relação à esta disciplina (Kochan; Stacheski, 2020).

Ao considerar essa abordagem inovadora e os desafios do ensino da Física, é necessário entender que a eficácia na aprendizagem depende da construção de novos significados, conforme Ausubel (2003) propõe. Esse processo exige condições específicas que permitem a interação entre novos conceitos e ideias já existentes na estrutura cognitiva dos alunos.

O processo de ensino-aprendizagem geralmente utiliza livros-texto organizados logicamente, mas a aprendizagem significativa vai além de simplesmente aprender material significativo. Nesse processo, o significado lógico do material transforma-se em significado psicológico à medida que o aprendiz internaliza e incorpora a informação em sua estrutura de pensamento, alterando seu conhecimento prévio (Tavares, 2010).

A aprendizagem predominante é por recepção, na qual o conteúdo é apresentado de forma final pelo ensino expositivo. Isso requer que o aprendiz integre o novo conhecimento com seu pensamento existente, facilitando a transformação do conteúdo

potencialmente significativo em conhecimento psicologicamente significativo. Em contraste, a aprendizagem mecânica envolve a memorização literal do material, eficaz a curto prazo, porém com baixa retenção a médio e longo prazo (Santos, 2019).

Destarte, este produto educacional visa enfrentar a dificuldade que muitos alunos têm em aprender física, frequentemente considerada complexa demais. Como exposto, a abordagem tradicional, muitas vezes teórica e abstrata, não facilita o entendimento de conceitos fundamentais como os da termodinâmica. Utilizando o Ciclo de Experiência de Kelly e ferramentas como o VPython, o produto oferece uma sequência didática que mistura teoria com práticas interativas e dinâmicas. Isso não só simplifica a aprendizagem de temas como átomos, moléculas e leis da termodinâmica, mas também aumenta o engajamento, curiosidade e motivação dos alunos, tornando a física mais acessível e interessante.

A pergunta problema que norteia esse produto educacional é: Como pode ser aplicado a simulação de transformações gasosas em um ambiente virtual (como o VPython) para facilitar a compreensão dos conceitos de termodinâmica entre os estudantes da 2ª série do Ensino Médio?

Diante do exposto, ressalta-se que o objetivo geral deste produto educacional é proporcionar um ensino interativo e aprofundado dos conceitos de termodinâmica para alunos do ensino médio, utilizando uma abordagem prática e digital através de simulações em 3D com a ferramenta VPython, visando não apenas facilitar a compreensão teórica dos princípios da termodinâmica, como também desenvolver habilidades computacionais e analíticas nos estudantes, promovendo um ambiente de aprendizagem ativo e investigativo que estimule a curiosidade e o engajamento dos alunos com o conteúdo.

Por fim, neste trabalho, será explorada a fundamentação teórica sobre o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TDICs) no ensino de Física. Inicialmente, discutir-se-á a relevância das TDICs em ambientes educativos e as ferramentas específicas mais frequentemente utilizadas nesse contexto. A seguir, a teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly será abordada, destacando a importância da experiência e a aprendizagem significativa conforme os princípios de Ausubel e Kelly. Posteriormente, serão introduzidos conceitos fundamentais de Termodinâmica, englobando a Lei Zero a Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica.

No campo da Física, o foco estará nas transformações gasosas, incluindo transformações isobáricas, isotérmicas e isovolumétricas, além do estudo do gás ideal. Também serão discutidas máquinas térmicas, como motores a combustão, e ciclos termodinâmicos, com ênfase no Teorema de Carnot e no Ciclo de Carnot. Finalmente, o trabalho apresentará um produto educacional com suas etapas de implementação

pedagógica, detalhando uma sequência didática planejada, que inclui abordagens teóricas, como o estudo do átomo, e práticas, como a explicação da Lei dos Gases com exemplificações. Esse produto visa facilitar a compreensão dos tópicos abordados e promover uma aprendizagem mais interativa e eficaz em Física.

1.1 Objetivos

A presente dissertação, foi desenvolvida na Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT – Campus Universitário do Araguaia, Polo de Barra do Garças, no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física e constrói-se no intuito de encontrar caminhos para viabilizar uma aprendizagem mais eficaz dos conhecimentos físicos da Termodinâmica aos alunos do Ensino Médio, visto não ser esta a realidade que se percebe nas salas de aula públicas do Ensino Médio, que em via de regra, veem as disciplinas exatas, e especialmente a Física, como tabu e intangível. Assim, o objetivo primordial desse projeto é criar, através de recursos tecnológicos interativos, dinâmicos e atraentes ao público juvenil, possibilidades de aprendizagens significativas e contextualizadas através da interação dos educandos com o simulador virtual 3D VPython tendo como tema a Termodinâmica – introduzida pelo estudo dos átomos, moléculas e matéria, e voltando-se sequencialmente e especificamente aos Gases Ideais e com foco em suas transformações gasosas.

Os objetivos específicos deste trabalho, são:

- Proporcionar o aprendizado significativo do tema físico proposto.
- Fomentar o ensino da Física através do uso das animações e simulações computacionais.
- Oportunizar um ambiente pedagógico, em que o aluno e seu processo de aprendizagem sejam elementos ativos.
- Reconhecer e operacionalizar os diferentes movimentos presentes nas simulações.
- Utilizar as conceituações da Física para alicerçar os conteúdos e atividades propostas, sejam escritas ou através das simulações no ambiente 3D Vpython.
- Contextualizar o conteúdo, através das ferramentas interativas, para que os alunos reconheçam sua aplicabilidade no seu cotidiano e em diversas outras áreas de conhecimento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)

O MNPEF é um programa voltado para professores da educação básica, com o objetivo de aprimorar suas práticas pedagógicas e promover o ensino de Física através de metodologias que proporcionem uma aprendizagem significativa aos alunos. Além disso, o programa se destaca como uma iniciativa da Sociedade Brasileira de Física (SBF), cujo objetivo é coordenar e divulgar o conhecimento oferecido por diversas Instituições de Ensino Superior (IES) em todas as regiões do nosso imenso Brasil.

De acordo com Rebeque e Ostermann (2015), o MNPEF foi criado por meio da Sociedade Brasileira de Física (SBF) e das diretrizes da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), com foco na qualificação de professores da educação básica para a disseminação e promoção do ensino de Física. Nesse contexto, a CAPES estabelece orientações para a elaboração dos trabalhos de conclusão de curso nos Mestrados Profissionais em Docência e no Mestrado Profissional em Ensino.

Sob a tutela dos professores Doutores do programa MNPEF, os Mestrandos desenvolvem produtos educacionais voltados para a otimização do Ensino de Física, utilizando metodologias modernas específicas, práticas pedagógicas inovadoras e novas tecnologias disponíveis para o âmbito escolar, tendo como alvo a viabilização e facilitação da aprendizagem dos conteúdos abordados.

Reconhecidamente, o foco primordial do MNPEF, é capacitar os professores por meio de seus desenvolvimentos pessoais e profissionais, e que isso se reflita no aperfeiçoamento de seus métodos e práticas educativas.

Assim, as Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs), estratégias para o uso de mídias eletrônicas, tecnologias e ferramentas computacionais, além de laboratórios experimentais e virtuais, são recursos que podem ser utilizados para explorar os conceitos físicos presentes nas características naturais. Nosso trabalho é fundamentado no universo das TDICs, e a seguir, discutiremos suas características e aplicações.

2.2 A importância das TDICs no ensino de Física

A importância das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) no ensino de Física é um tema que vem sendo debatido e enfatizado por vários autores, visto que este ensino enfrenta desafios como a negligência experimental, o apego excessivo ao livro didático e à falta de recursos tecnológicos. Por isso, as TDICs surgem como uma ferramenta crucial para auxiliar no processo de ensino-aprendizagem dessa disciplina

(Costa, 2017).

Num cenário educacional onde a Física é ensinada com poucas aulas semanais, há um desafio de transmitir conteúdos complexos de forma compreensível e relevante. Desse modo, as TDICs oferecem soluções inovadoras, especialmente através do uso de simulações computacionais. Melo (2019) aponta que esse tipo de recurso permite tornar o ensino de Física menos abstrato e mais interativo, uma estratégia essencial para lidar com as limitações de tempo e recursos.

O ensino tradicional frequentemente não motiva os alunos, como observam Trevelin, Almeida e Stacheski (2021), pois costuma gerar aversão às atividades humanas, utilizando recursos que transformam até mesmo as ações inicialmente mais atrativas em algo desagradável.

Com o avanço das TDICs, é possível inovar o currículo e romper com essa linearidade tradicional, proporcionando novas formas de pensar e produzir conhecimento. Huberman (1973), porém, alerta que a tecnologia não deve ser vista como um "milagre", mas sim como um complemento que deve ser utilizado sabiamente para garantir o aprendizado eficaz.

Além disso, as TDICs podem transformar uma sala de aula convencional num ambiente interativo e dinâmico, fundamental quando os estudantes estão imersos em um mundo digital com constante acesso a dispositivos como celulares e computadores (Moura, 2016).

Os jovens estão intimamente conectados a essas tecnologias, mas muitas vezes esse recurso não é adequadamente integrado ao ambiente educacional, permanecendo um desafio tanto pela falta de recursos quanto pela falta de formação dos professores no uso efetivo dessas ferramentas (Moura, 2016).

O uso eficaz das TDICs no ensino de Física amplia a compreensão dos alunos sobre os conceitos abordados. Elas superam as limitações de uma sala de aula tradicional, que frequentemente carece de laboratórios e materiais experimentais, ao mesmo tempo em que se alinham aos interesses dos estudantes habituados ao contexto digital, estabelecendo uma conexão direta com suas experiências diárias (Costa; Barros, 2015).

As tecnologias, segundo Moran (2007), provocam revoluções no ensino ao aprenderem de forma autônoma. Contudo, a integração bem-sucedida das TDICs no ensino requer não apenas recursos tecnológicos, mas também uma mudança de mentalidade e prática pedagógica. A educação deve preparar o aluno para viver em uma sociedade complexa e em constante mudança, desenvolvendo, portanto, não apenas a capacidade de memorizar conteúdo, mas também a habilidade crítica e adaptativa.

Portanto, para que as TDICs cumpram plenamente seu potencial transformador no ensino de Física, é necessário investimento em infraestrutura e formação contínua dos educadores. Só assim a Física será ensinada de forma inovadora, ajudando os alunos a não apenas memorizar, mas entender profundamente os fenômenos que estudam, possibilitando uma educação que realmente prepare para a vida na sociedade contemporânea e tecnológica.

2.3 As TDICs utilizadas no ensino de Física

A implementação de TDICs em aulas de Física não apenas torna os conteúdos mais acessíveis e compreensíveis, mas também cria oportunidades para um ensino mais interativo e engajante. Vamos explorar as diferentes formas de TDICs que são comumente utilizadas no ensino de Física, além de suas vantagens e desafios.

Uma das TDICs amplamente utilizada é o software educacional que facilita tanto professores quanto alunos a modelarem e simularem experimentos de Física. O software Modellus, por exemplo, é uma ferramenta poderosa para a simulação e modelagem computacional. Como descrito por Melo (2010), o software Modellus permite ao aluno fazer experimentos conceituais utilizando modelos matemáticos e trabalhar com a interpretação dos conceitos, não se detendo apenas nos cálculos, mas também na representação destes. Este tipo de software é particularmente eficaz na forma como permite que os estudantes manipulem variáveis de tempo, velocidade e distância, tornando os conceitos teóricos mais tangíveis.

Outra ferramenta inovadora é o PhET (Physics Education Technology), um projeto iniciado pelo físico Carl Wieman na Universidade do Colorado. Segundo Moura (2016), as simulações PhET são desenvolvidas com base em extensas pesquisas que são testadas por alunos para garantir sua eficácia educativa. Essa plataforma oferece simulações interativas e baseadas em pesquisas que podem ser usadas tanto online quanto offline, e todas as simulações são de código aberto. Como ferramenta pedagógica, PhET supera muitos dos desafios encontrados por laboratórios físicos de ensino, proporcionando simulações de alta qualidade que ajudam na compreensão de conceitos complexos como a Lei de Faraday e de fenômenos físicos em diversas áreas (Fernandes, 2019).

Os diferentes tipos de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs) têm demonstrado eficácia na melhoria do ensino de Física ao oferecer métodos inovadores para engajar os alunos e facilitar a compreensão de conceitos complexos. Moro, Neide e Rehfeldt (2016) exploraram simulações computacionais integradas com atividades

experimentais para ensinar conceitos de transferência de energia térmica. As atividades práticas, apoiadas pelas simulações do Energy2D (Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone) e de plataformas americanas, permitem um aprendizado mais significativo, relacionando teoria e prática de forma eficaz. Com essa simulação há uma quebra do formalismo educacional, possibilitando ao aluno explorar e interagir com simulações e compreensões científicas em um ambiente controlado.

O artigo de Galvão et al. (2022) explora o uso de Python e suas bibliotecas, particularmente o VPython e Tkinter, na construção de simuladores de fenômenos físicos para o ensino de termodinâmica no nível médio, enfatizando as potencialidades desses recursos computacionais, destacando-se pela simplicidade e acessibilidade do Python, ideal para iniciantes no aprendizado de lógica de programação. Com a capacidade de gerar figuras tridimensionais manipuláveis, o VPython permite a criação de simuladores detalhados que modelam fenômenos físicos, como movimentos e interações de forças. Além disso, o Tkinter se mostra eficaz na elaboração de interfaces gráficas de usuário, tornando os simuladores mais interativos e atraentes para os estudantes. Deste modo, os autores ressaltam que o uso combinado dessas ferramentas em um laboratório virtual transforma o ensino da Física, possibilita novas metodologias práticas que substituem ou complementam o acesso a laboratórios físicos.

O uso de plataformas como o Tinkercad, conforme menciona Andrade e Corrallo (2020), promovem uma aprendizagem ativa, motivando os alunos a participarem mais efetivamente de suas aprendizagens. Carvalho e Oliveira (2021) demonstraram que as simulações computacionais não só tornam o aprendizado mais significativo para todos os alunos, mas também oferecem suporte fundamental para estudantes com deficiência, promovendo uma inclusão educacional mais eficaz. Em suma, as TDICs no ensino de Física proporcionam um ambiente dinâmico e acessível, fomentando um aprendizado colaborativo e interativo que atende às necessidades diversas dos estudantes.

O estudo de Rocha et al. (2023) ressalta a importância da integração de tecnologias no ensino médio, unindo teoria a práticas interativas, os autores mencionam que as ferramentas Python e VPython permite criar simulações tridimensionais acessíveis, enriquecendo o aprendizado de fenômenos térmicos e mecânicos por meio de interações diretas, sem os riscos e limitações dos laboratórios tradicionais. As animações em 3D ajudam a tornar conceitos complexos, como movimento e interação de partículas, mais tangíveis. Além disso, a simplicidade do Python possibilita que estudantes sem experiência em programação explorem e desenvolvam essas simulações. No entanto, é importante que essas ferramentas complementem, e não substituam, as práticas reais. A integração

consciente dessas tecnologias no currículo pode tornar a educação mais completa e significativa.

Pastorio et al. (2021) também abordaram o uso de simulações computacionais para resolver problemas de Física, destacando benefícios no desenvolvimento de conteúdos conceituais e procedimentais. As atividades foram realizadas presencialmente e à distância, promovendo discussões teóricas e práticas sobre os temas abordados, ainda que o desenvolvimento de atitudes não tenha sido significativamente identificado.

As atividades experimentais e simulações digitais são essenciais no ensino de Física ao nos ajudar a relacionar os conteúdos com o cotidiano, auxiliando na compreensão de fenômenos naturais. Por exemplo, através de animações computacionais, os alunos podem explorar temas como a geração de energia elétrica em usinas hidrelétricas ou nucleares. Tais recursos, conhecidos como Objetos de Aprendizagem, são criados com o objetivo de facilitar o primeiro contato dos alunos com determinados conteúdos, promovendo uma melhor integração entre teoria e prática (Carvalho; Oliveira, 2021).

No entanto, enquanto as TDICs oferecem muitas vantagens, como a capacidade de tornar as aulas mais dinâmicas e interativas, elas também apresentam desafios. Conforme destacado por Araújo (2019) o uso excessivo dessas tecnologias pode comprometer algumas habilidades práticas e competências críticas que são importantes para uma formação abrangente, como o desenvolvimento da capacidade de problematizar e pensar criticamente sobre o contexto prático.

Além disso, um dos principais benefícios das TDICs no ensino de Física é a sua capacidade de tornar os conteúdos mais orientados para o contexto real, melhorando assim o entendimento dos estudantes. De acordo com Sousa (2016), a tecnologia entrou definitivamente em praticamente todas as esferas da vida, transformando como as pessoas percebem e interagem com o mundo. Isso é particularmente relevante no ensino de Física, onde muitas vezes o objetivo é tornar conceitos abstratos mais concretos.

As TDICs no ensino de Física não estão limitadas a softwares e simulações. Elas também incluem o uso de dispositivos móveis, redes sociais e jogos educativos. Os smartphones, por exemplo, ao serem integrados ao ambiente de sala de aula, permitem um acesso mais rápido e preciso a informações, ajudando a interligar teoria e prática de forma eficaz, conforme apontado por Ferreira et al. (2021). Da mesma forma, as redes sociais e os jogos educacionais oferecem plataformas envolventes para a aprendizagem colaborativa e interativa, promovendo um meio de ensino que é tanto informativo quanto agradável.

As TDICs são fundamentais no ensino de Física, oferecendo uma variedade de ferramentas que enriquecem o aprendizado, tornando-o mais interativo e alinhado com as experiências do mundo real. Enquanto é essencial monitorar o uso excessivo dessas tecnologias, as suas vantagens no fomento do entendimento e na facilitação de interações educativas são incontestáveis, fazendo delas recursos indispensáveis no ambiente educacional contemporâneo.

2.4 A Importância da Experiência na Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly

Segundo George Alexander Kelly (1963), a aprendizagem não é um fenômeno exclusivo das escolas ou de ocasiões especiais, mas sim um processo intrinsecamente ligado à vivência de experiências. Portanto, se uma pessoa não aprende, isso significa que ela não viveu a experiência plenamente. Ele define a experiência como um ciclo composto por cinco etapas: Antecipação, Investimento, Encontro, Confirmação ou Desconfirmação, e Revisão Construtiva.

Compreendendo a experiência como um elemento central na teoria de Kelly, torna-se fundamental expor resumidamente a trajetória deste distinto psicólogo, cuja formação interdisciplinar e obras publicadas trouxeram significativas contribuições para o campo da Psicologia.

George Alexander Kelly, distinto psicólogo clínico e acadêmico norte-americano, cuja formação abrange Física e Matemática, conquistou um mestrado em Sociologia Educacional e um doutorado em Psicologia. Em 1955, ele publicou sua obra mais importante, “A Teoria dos Construtos Pessoais”, onde postula que os indivíduos percebem e constroem a realidade de formas diversas, introduzindo, assim, o conceito de Alternativismo Construtivo (Oliveira, 2021).

De acordo com Hall, Lindzey e Campbell (2007), na teoria kellyana os indivíduos diferem na maneira como constroem e interpretam o mundo, resultando em ações distintas. Todas as interpretações do universo estão sujeitas a revisão ou substituição, sublinhando a singularidade das percepções individuais.

Na visão de Kelly os indivíduos constroem, testam e reavaliam conceitos com o intuito de compreender e prever eventos futuros, desempenhando um papel análogo ao de cientistas. Em sua visão, os seres humanos desenvolvem teorias e hipóteses fundamentadas em suas experiências pessoais, e, por essa razão, ele os considerava “cientistas humanos”, pois formulam e testam hipóteses sobre o comportamento, aprendendo com os resultados obtidos (Santos; Oliveira; Saad, 2021).

A referente teoria valoriza a maneira como cada indivíduo constrói seu entendimento da realidade, enfatizando que a interpretação dessa realidade é influenciada mais pelo sujeito do que pela própria realidade objetiva. A motivação é percebida como intrínseca, sugerindo que as pessoas agem de acordo com as alternativas que percebem em suas interpretações (Hall; Lindzey; Campbell, 2007).

Segundo os estudos de Kelly (1963), a experiência humana é caracterizada pela constante construção e reconstrução dos eventos vividos, como delineado no Corolário da Experiência: “O sistema de construções de uma pessoa varia à medida que ela sucessivamente constrói réplicas dos eventos” (p. 73). Não é o evento em si que confere maior experiência ao ser humano, mas sim a contínua interpretação e reinterpretação do que acontece.

As interpretações dos eventos atuam como hipóteses sobre as consequências dos comportamentos. Utilizam-se os resultados efetivos para validar o sistema de constructos, de forma análoga ao modo como os cientistas empregam dados para validar teorias. As antecipações são continuamente revistas à luz dos resultados, promovendo uma evolução progressiva do sistema de constructos. Kelly (1963) designou o termo “experiência” para referir-se à interpretação contínua dos eventos, em oposição à mera sequência destes (Batista; Sousa; Silva, 2023)

Na teoria Kellyana é sustentado que a experiência adquire sentido quando a pessoa participa ativamente dos eventos, abstraindo e estabelecendo semelhanças e regularidades entre eles. Essa abstração, que resulta do envolvimento em eventos únicos com desfechos variados e frequentemente inesperados, fomenta a aprendizagem por meio da modificação dos constructos (Rocha *et al*., 2020).

Kelly (1963) descreve o processo de aprendizagem humana através do Ciclo da Experiência Kellyana (CEK), composto por cinco fases ilustradas na figura a seguir (Figura 1).

Figura 1- Ciclo da Experiência Kellyana

Fonte: Autoria Própria, baseado nas ideias apresentadas por Kelly (1963).

No CEK, como observado na figura 1, o desenvolvimento do conhecimento ocorre em cinco fases distintas. Na primeira fase, a pessoa utiliza seus constructos para antecipar um evento e formular hipóteses a respeito dele. Alves (2008) descreve essa etapa como um momento de previsão dos eventos, onde são desenvolvidas as primeiras réplicas dos processos observados e é elaborado um prognóstico preliminar dos eventos subsequentes.

Na segunda fase, a pessoa começa a coletar informações que possam contribuir para a construção de seu conhecimento a partir das réplicas dos eventos. Sendo nesse estágio que se estabelece a interação entre o indivíduo e os eventos vivenciados, transformando tanto a pessoa quanto a sua maneira de compreender os eventos (Oliveira, 2021).

À medida que avança para a terceira fase, a pessoa se envolve ativamente com o evento e reflete sobre as ideias formuladas nas fases anteriores. Esta é a fase em que o evento se concretiza, associando as estruturas prévias elaboradas ao contínuo refinamento dessas ideias.

Na quarta fase, o indivíduo testa as suas hipóteses em face do evento vivenciado, verificando sua validade. Nessa etapa é o momento de confirmação ou refutação das observações feitas, o que pode resultar na criação de novas construções cognitivas.

Na última fase do CEK, a pessoa revisa suas ideias à luz das experiências vividas, constituindo novos conhecimentos. O indivíduo reconhece uma mudança significativa em seu sistema de constructos, promovendo seu crescimento cognitivo por meio da experiência e do aprendizado (Neves; Carneiro-Leão; Ferreira, 2012).

2.4.1 Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel e Kelly

Ao abordar a aprendizagem, é essencial considerar as concepções de David Ausubel, psicólogo estadunidense. Sua teoria da aprendizagem significativa explora os processos mentais envolvidos na retenção e organização do conhecimento com base em seus significados. Segundo Moreira (2001), a aprendizagem significativa ocorre quando novas informações se conectam a conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do indivíduo, chamados de subsunçores. Esses subsunçores ajudam a integrar e dar significado às novas informações, e a assimilação de novas informações pode criar novos subsunçores, facilitando futuras aprendizagens (Felicetti; Pastoriza, 2015).

Em situações em que um subsunçor não está presente, utilizam-se organizadores prévios para criar ancoradouros iniciais. Se o conhecimento é completamente novo, um organizador prévio expositivo é utilizado. Por outro lado, quando o aprendiz já tem alguma familiaridade com o conteúdo, usa-se um organizador comparativo para facilitar a distinção e a integração das novas ideias (Barreto *et al*., 2024).

Diferentemente da aprendizagem significativa, a aprendizagem mecânica é caracterizada pela memorização sem significado. No entanto, processos mecânicos podem, eventualmente, contribuir para a construção do conhecimento ao funcionarem como subsunçores futuros. Baldissera (1996) explica que, ao contrário da aprendizagem mecânica, onde informações são memorizadas sem uma verdadeira conexão com o conhecimento pré-existente, a aprendizagem significativa ocorre quando novas informações se ligam substancial e não arbitrariamente ao que o aluno já sabe. Isso torna mais fácil para o aluno não apenas reter e entender o conhecimento, mas também usá-lo em diferentes situações.

Ausubel (2003) classifica a aprendizagem significativa em tipos e formas. Os tipos situacionais são: aprendizagem representacional (onde um signo representa um evento ou objeto), aprendizagem conceitual (onde um signo se refere a uma classe de objetos ou eventos) e aprendizagem proposicional (onde conceitos são usados em proposições mais complexas). Já as formas relacionais incluem a aprendizagem subordinada (onde o novo conhecimento é ancorado por conhecimentos prévios), superordenada (onde um conhecimento passa a subordinar vários outros) e combinatória (onde o novo conhecimento interage com uma ampla base de conhecimentos prévios) (Moreira, 2015).

O cerne da aprendizagem significativa reside na habilidade dos alunos de relacionar novas informações com conceitos relevantes já presentes em sua estrutura cognitiva, tornando a aprendizagem mais eficaz. Ausubel (2003) enfatiza que a estrutura do ensino deve assegurar que os conceitos e ideias principais sejam compreensíveis para os alunos, possibilitando que eles integrem novas informações ao seu conhecimento prévio.

Portanto, os fundamentos da aprendizagem significativa, conforme delineados por Ausubel (2003), apresentam uma visão poderosa sobre como os alunos aprendem melhor. A ênfase na combinação de novos conhecimentos com a estrutura cognitiva já presente, a relevância dos organizadores prévios, a função da motivação intrínseca e a apreciação de um aprendizado ativo e integrado são todos elementos que promovem uma experiência educacional mais rica e eficaz.

3. TERMODINÂMICA

Mário José Oliveira, define a Termodinâmica como sendo "a ciência das transformações de energia relacionadas com as propriedades das substâncias", como registra em sua obra “Termodinâmica”. Essa definição destaca o foco da termodinâmica no estudo das propriedades macroscópicas das substâncias e nas leis que regem suas transformações energéticas. O livro aborda desde os princípios fundamentais até aplicações avançadas, como transições de fase, fenômenos críticos, termodinâmica de sólidos, cristais líquidos, radiação térmica e termoquímica.

Assim sendo, a termodinâmica, é ramo da física que estuda calor, temperatura, trabalho e energia e conecta-se à mecânica pela equivalência entre calor e trabalho, descoberta por Joule no século XIX. Esta descoberta foi muito importante para estruturar a termodinâmica e entender as interações entre trabalho e energia. As leis da termodinâmica, sistematizadas por Clausius por volta de 1850, são fundamentais para compreender os fenômenos do universo. Este campo explica macroscopicamente a origem da “flecha do tempo”, diferenciando passado e futuro (Nussenzveig, 1990).

As quatro leis da termodinâmica são: a lei zero, que define temperatura via equilíbrio térmico; a primeira e a segunda leis, que serão detalhadas a seguir; e a terceira lei, que estabelece o zero absoluto como limite inferior de temperatura. A termodinâmica caracteriza sistemas com várias partículas usando variáveis como pressão e temperatura, refletindo uma abordagem estatística dos fenômenos naturais. Ela é amplamente aplicada no estudo dos fluidos e mecânica dos sólidos, investigando a resposta dos materiais às ações externas (Rocha, 2010).

Fundamentada na termodinâmica, a análise do calor como forma de energia torna a interpretação dos conceitos de trabalho e energia mais rigorosa, essencial para entender transformações em corpos deformáveis. Segundo Brophy *et al*., (1972), as leis da termodinâmica são “generalizações da experiência comum”, determinando o estado e propriedades dos sistemas. Sem perturbações, os sistemas atingem o equilíbrio, sem variação temporal de suas propriedades.

Devido sua complexidade, a aprendizagem da termodinâmica é frequentemente considerada desafiadora, pois rapidamente se torna repleta de derivadas e diferenciais, algumas rigorosas e outras não, parecendo mais um capítulo de análise matemática do que um ramo fulcral da Física. Este campo, no entanto, é tão significativo que permaneceu intacto apesar das revoluções provocadas pela teoria da relatividade e pela mecânica quântica no século passado (Lage, 2019).

As suas origens históricas estavam intimamente ligadas a análise das transferências de calor em dispositivos térmicos durante o começo da revolução industrial. Vale destacar a contribuição de Sadi Carnot e os seus ciclos termodinâmicos em 1824, e, já em meados do século XIX, Rudolf Clausius, responsável por introduzir o conceito de entropia e por formular a Segunda Lei da Termodinâmica, e William Thomson (Lord Kelvin), contribuíram para o desenvolvimento das leis da termodinâmica. A formulação da Primeira Lei da Termodinâmica contou com importantes contribuições de Julius Robert Mayer, que propôs a conservação da energia em processos térmicos; James Prescott Joule, que demonstrou experimentalmente a equivalência entre calor e trabalho; e Hermann von Helmholtz, que formalizou matematicamente o princípio da conservação da energia. Por fim, Josiah W. Gibbs, em 1875, expandiu esses conceitos para sistemas abertos e para a química. A interpretação da termodinâmica sob uma perspectiva estatística começou a se desenvolver no mesmo século, graças às contribuições de J. C. Maxwell e L. Boltzmann.e o próprio Gibbs (Silva; Errodibart, 2020).

A Termodinâmica Clássica não aborda o processo de evolução para o equilíbrio; ao invés disso, assume esse estado como dado e a partir dele obtém relações entre grandezas mensuráveis sem referir-se à constituição atômica do sistema. Esta é a base da sua universalidade, bem como a origem dos seus raciocínios mais abstratos (Pádua *et al*., 2020).

É também amplamente conhecido que, caso dois sistemas estejam em equilíbrio com um terceiro sistema, então eles também estarão em equilíbrio um com o outro, princípio conhecido como o Princípio Zero da Termodinâmica. Portanto, deve existir uma propriedade comum aos corpos em equilíbrio térmico: essa propriedade é a temperatura, e esse princípio fundamenta toda a termometria, uma importante área da termodinâmica que não será detalhada aqui (Pádua et al., 2020).

3.1 Lei zero da Termodinâmica

A lei zero da termodinâmica estabelece que, se dois corpos, A e B estiverem separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, então A e B também estarão em equilíbrio térmico entre si. No campo da termodinâmica, isso significa que essa lei descreve como ocorre a troca de calor entre os corpos. Com a definição de que o calor é uma forma de energia que pode ser convertida em outras formas, a área da termologia passou a ser conhecida como termodinâmica. Antes de abordar a lei zero da termodinâmica, é importante lembrar que o equilíbrio térmico ocorre quando dois corpos,

inicialmente com temperaturas diferentes, entram em contato e, após um processo de transferência de calor, atingem a mesma temperatura (Silva, 2020).

A lei zero da termodinâmica foi assim nomeada por Ralph H. Fowler (1889-1944), um físico inglês, após seus estudos e experimentos no século XX. Depois que as bases do conhecimento sobre as trocas de calor entre os corpos foram formuladas, surgiu a necessidade de estruturar a apresentação dessa lei na termodinâmica, uma vez que as primeiras e segundas leis já eram partes fundamentais dos conceitos da área. Para resolver essa questão, foi proposto o termo “lei zero,” que é utilizado na física até os dias atuais (Santos, 2023).

Fowler deu início ao processo de busca por respostas sobre a sensação de frio ou calor, um fenômeno que ainda gera debates e estudos no meio científico, especialmente por envolver a compreensão de temperatura (Sears, 1973).

Quando um corpo é aquecido ou resfriado, suas propriedades físicas mudam, como o volume que geralmente aumenta ao ser aquecido. A resistência elétrica de um condutor também aumenta com a temperatura, enquanto alguns resistores têm resistência diminuída. Por exemplo, ao preparar um molho branco a 100°C e deixar uma colher metálica a 20°C imersa no molho, ocorrerá transferência de calor do molho para a colher, e ambos atingirão uma temperatura final de equilíbrio térmico. Corpos de maior temperatura possuem maior energia térmica, que flui para corpos com menor energia até igualá-las. Isto demonstra que a troca de energia térmica entre materiais cessa quando ambos atingem a mesma temperatura, mas a temperatura de equilíbrio não é necessariamente a média das temperaturas iniciais (Máximo; Alvarenga, 2003).

3.2 Leis da Termodinâmica

As leis da termodinâmica baseiam-se fundamentalmente na lei de conservação de energia e na lei de conservação de massa. A “lei zero”, estabelece que se dois objetos estão em equilíbrio térmico com um terceiro objeto simultaneamente, então a transferência de calor entre esses objetos é nula.

Primeira Lei da Termodinâmica: A Primeira Lei da Termodinâmica estabelece que a energia de um sistema isolado permanece constante, mesmo quando se transforma de uma forma para outra durante interações, como aquelas que ocorrem em nível molecular. Isso significa que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas convertida entre diferentes formas.

Segunda Lei da Termodinâmica: A entropia de um sistema isolado tende a aumentar, indicando que os processos reais geralmente evoluem para estados de energia de menor utilidade ou potencial para realizar trabalho.

Terceira Lei da Termodinâmica: Conforme a terceira lei da termodinâmica, à medida que a temperatura se aproxima do zero absoluto, a entropia de um sistema tende a alcançar um valor fixo e constante. Assim, a entropia de um sistema tende a zero na temperatura do zero absoluto (Zohuri, 2017).

3.2.1 Primeira Lei

As raízes da termodinâmica remontam à antiguidade, época em que as pessoas observavam e experimentavam fenômenos envolvendo calor e fogo. Os gregos, por exemplo, propuseram a teoria dos quatro elementos da matéria, incluindo o fogo. Civilizações como os egípcios, chineses e os indianos também criaram tecnologias e ideias relacionadas ao calor, como o calendário solar, a técnica de produzir fogo esfregando materiais e o conceito de prana (energia vital).(Rosa, 2012).

Entretanto, foi apenas nos séculos XVII e XVIII que o estudo científico do calor começou a se consolidar, impulsionado pelo desenvolvimento de instrumentos como termômetros, calorímetros e motores a vapor. Pioneiros como Robert Boyle, Joseph Black, Daniel Bernoulli e Benjamin Thompson (Conde Rumford) fizeram contribuições significativas ao distinguir calor de temperatura, introduzir o conceito de calor latente e desenvolver a teoria cinética dos gases (Rosa, 2012).

A formulação moderna da primeira lei da termodinâmica surgiu no século XIX, com cientistas interessados em otimizar a eficiência de motores térmicos, como o motor a vapor e o motor Stirling. O médico alemão Julius Robert von Mayer, foi o primeiro a formular essa lei de maneira geral em 1842, declarando que a energia não pode ser criada ou eliminada, e foi calculado como o calor pode ser convertido em energia mecânica. Simultaneamente, James Prescott Joule, um cervejeiro e físico inglês, confirmou o trabalho de Mayer por meio de experimentos que mediam o equivalente mecânico do calor e mostraram que calor e trabalho mecânico podem ser convertidos um no outro (Passos, 2009).

No início da segunda década do século XXI, observa-se uma lacuna significativa na apresentação da Termodinâmica no meio acadêmico, especialmente na compreensão do princípio da equivalência mecânica do calor. Por isso, traçar a história desse equivalente é um desafio para os interessados na história da ciência e da termodinâmica (Passos, 2009).

Como exposto, a termodinâmica é a área da física que estuda como a energia muda e se relaciona com variáveis macroscópicas como temperatura, pressão e volume.

Portanto, ressalta-se que um dos pilares dessa ciência é a primeira lei da termodinâmica, que estabelece a conservação da energia total de um sistema em qualquer processo, seja ele reversível ou irreversível (Fontes, 2021).

A primeira lei da termodinâmica confirma que a energia total de um sistema se mantém constante durante qualquer processo. Isso implica que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada de uma forma para outra ou transferida entre sistemas. Matematicamente, essa lei é expressa como: $\Delta U = Q - W$, onde ΔU representa a mudança da energia interna do sistema é afetada pela quantidade de calor adicionada ou retirada (Q) e pelo trabalho feito pelo sistema ou sobre ele (W). Pela convenção de sinais, o calor e o trabalho são considerados positivos quando são adicionados ao sistema e negativos quando deixam o sistema.

Essa lei tem diversas aplicações práticas, explicando como diferentes formas de energia podem ser convertidas e utilizadas (Santos Filho, 2020).

Essa lei é aplicada ao estudo de diversas transformações termodinâmicas, tais como: Transformação isobárica: Durante essa transformação, a pressão permanece constante enquanto o volume e a temperatura variam. Transformação isotérmica: Nesta transformação, a temperatura é constante, e tanto o volume quanto a pressão variam. Transformação isovolumétrica: Aqui, o volume é constante, mas a pressão e a temperatura sofrem alterações. Transformação adiabática: Nesse caso, o gás não troca calor com o ambiente, implicando que qualquer variação de energia interna se traduz exclusivamente em trabalho realizado pelo gás ou sobre ele (Silva, 2020).

3.2.2 Segunda Lei

A Segunda Lei da Termodinâmica refere-se como o calor se move e é transferido, indicando a tendência espontânea das trocas de calor para igualar temperaturas diferentes, alcançando o equilíbrio térmico. Essa lei afirma que o calor naturalmente se move de um objeto de maior temperatura para um objeto de menor temperatura. Essa lei estabelece que o fluxo de calor sempre ocorre do sistema com maior temperatura para o de menor temperatura. Em outras palavras, essa lei trata principalmente da transferência espontânea de calor entre sistemas (Fontes, 2021).

De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, todo processo apresenta diminuição de energia interna do sistema, uma vez que seu rendimento nunca é 100%. Porém, a interpretação da direção do fluxo de energia pode variar dependendo da convenção usada. Em algumas referências, como o livro de Halliday (1983), considera-se que o trabalho (W) é positivo quando realizado pelo sistema, significando que há uma perda de energia.

3.3 Transformações Termodinâmicas

3.3.1 Transformações gasosas

Transformações gasosas acontecem quando mudamos a pressão, o volume ou a temperatura de um gás. Durante essas transformações, a pressão, o volume ou a temperatura de um gás podem ficar constantes. Essas mudanças definem como os gases se comportam e como seu estado físico muda ao alterar alguma dessas grandezas (Melo, 2018).

Portanto, existem quatro tipos de mudanças que podem ocorrer com os gases: isobárica (pressão constante), isotérmica (temperatura constante), isovolumétrica (volume constante) e adiabática (sem troca de calor). As transformações gasosas envolvem mudanças nas variáveis de estado, que incluem a pressão (P), o volume (V) e a temperatura (T) de uma quantidade (n) de um gás (geralmente um gás ideal). Para analisar essas transformações, dois conceitos principais são utilizados (Prants, 2020).

O primeiro conceito refere-se à relação entre as variáveis de estado do gás, expressa por:

$$\frac{P.V}{T} = Constante = n.R$$

Ou ainda,

$$P \,.\, V = n \,.\, R \,.\, T$$

Essa é a equação de Clapeyron. Essa equação permite determinar as variáveis essenciais de um gás em qualquer ponto de uma transformação, independentemente do tipo. Em uma transformação, pode-se escrever a relação entre as variáveis no momento inicial (1) e as variáveis no momento final (2):

$$\frac{Pi.Vi}{Ti} = \frac{Pi.Vf}{Tf} = Constante$$

O segundo conceito oferece uma visão energética das transformações gasosas, através da primeira lei da Termodinâmica: Q = W + ΔU

Assim como a equação de Clapeyron, a primeira lei tem aplicação geral nas transformações, independentemente do tipo. Pode-se simplificar os problemas se uma das variáveis permanecer constante durante toda a transformação.

3.3.2 Transformação isobárica

Um processo isobárico é uma transformação termodinâmica realizada sob pressão constante. O termo isobárico tem origem nas palavras gregas “iso”, que significa igual, e

“baros”, que se refere à pressão. Assim, a pressão constante é mantida quando o volume do sistema se expande ou se contrai, o que neutraliza qualquer variação de pressão provocada pela transferência de calor (Melo, 2019).

Durante um processo isobárico, quando o calor é adicionado ao sistema, ocorre a realização de trabalho. Além disso, a energia interna do sistema sofre alteração. É importante observar que, de acordo com a primeira lei da termodinâmica, nenhuma quantidade, tal como trabalho ou calor, é anulada ou zerada, conforme demonstrado na figura 2.

Na transformação isobárica, a pressão permanece constante ao longo do tempo, à medida que o volume e a temperatura da amostra aumentam ou diminuem juntos (Melo, 2018).

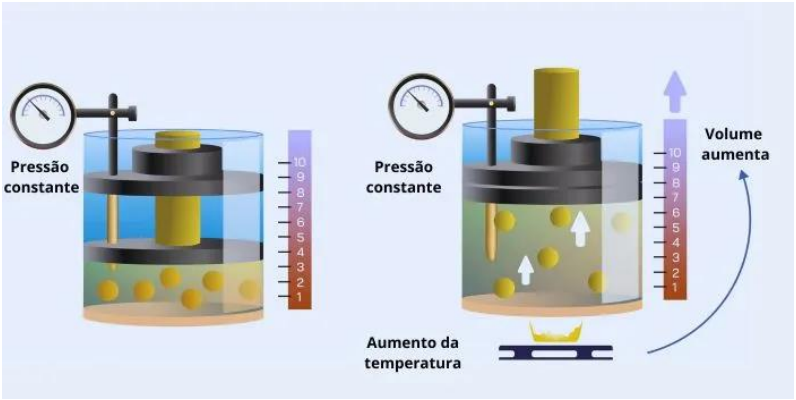
A Pressão constante – Transformação Isobárica. A primeira lei da Termodinâmica é expressa por:

$$Q = P.\Delta V + \frac{3}{2}.n\ .\ R\ .\ \Delta T$$

E pode-se simplificar a relação entre as variáveis de estado:

$$\frac{Vi}{Ti} = \frac{Vf}{Tf} = Constante \text{ (Lei de Charles)}$$

Figura 2- Transformação Isobárica



Fonte: Melo, (2018)

Aqui, um cilindro de gás possui um pistão sem massa que se encaixa perfeitamente e pode deslizar verticalmente. O cilindro é selado, impedindo a entrada ou saída de átomos. Uma massa colocada sobre o pistão exerce uma força constante, Mg, para baixo, além da força devida à pressão atmosférica, que também atua na mesma direção. Em equilíbrio, a força para cima exercida pelo gás no pistão, dada por PA, é igual à soma das forças que atuam para baixo, ou seja, Mg + P_{atmos} A, portanto, a pressão do gás no interior do cilindro é constante enquanto a massa M e a pressão atmosférica permanecerem inalteradas. No entanto, essa pressão constante não significa que a temperatura não influencia o sistema:

se a temperatura do gás for aumentada, ele se expandirá, elevando o pistão e aumentando o volume, mas mantendo a mesma pressão desde que o sistema esteja livre para se mover e o equilíbrio de mantenha.

Aquecendo o cilindro, o gás se expande, movendo o pistão para cima, mas a pressão, definida pela massa M, mantém-se inalterada. No diagrama PV, essa expansão ocorre na linha horizontal de 1 a 2, conhecida como expansão isobárica. Quando o gás esfria e o pistão desce, ocorre a compressão isobárica. No diagrama PV, um processo isobárico é representado por uma linha horizontal.

Outro exemplo de processo isobárico é quando a água ferve transformando-se em vapor ou quando congela para formar gelo. Durante esse processo, um gás se expande ou se contrai de modo a manter a pressão constante, resultando em trabalho realizado pelo ou sobre o sistema. O calor dQ é parcialmente utilizado para elevar a temperatura dT e parcialmente empregado para realizar trabalho externo. Um cenário clássico de processo isobárico é a expansão reversível de um gás ideal.

3.3.3 Transformação Isotérmica

A transformação isotérmica ocorre quando, em um processo termodinâmico envolvendo um gás ideal, a temperatura se mantém constante ao longo de todo o processo. O termo "isotérmico" deriva das palavras gregas "iso", que significa igual, e "thermo", que significa temperatura (Schuz, 2009).

Essa transformação também é conhecida como Lei de Boyle-Mariotte. Foi inicialmente enunciada por Robert Boyle em 1660, um químico irlandês que diferenciou a química da alquimia. Conforme a lei, para uma quantidade fixa de gás, o produto da pressão pelo volume é constante quando a temperatura não muda. Posteriormente, em 1676, Edme Mariotte, um físico francês, descobriu independentemente a mesma lei, e por isso, hoje em dia, ela leva o nome de ambos os cientistas (Schuz, 2009).

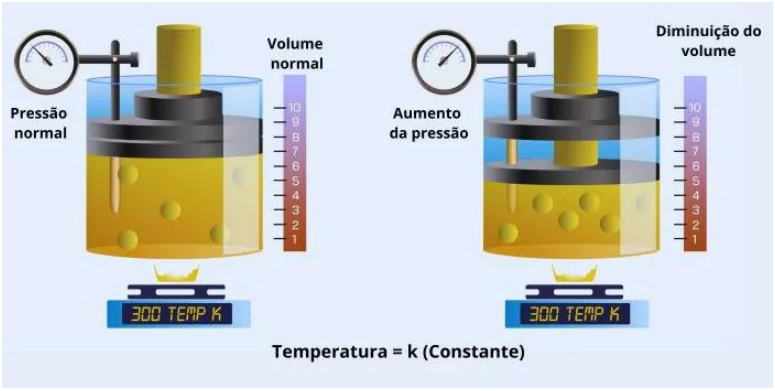
Na transformação isotérmica, a temperatura não muda com o passar do tempo, mas o volume e a pressão do gás mudam de forma oposta. Por exemplo, quando um gás se expande ou se contrai devagar mantendo a temperatura constante, demonstrado na figura 3 (Nussenzveig, 2016).

A primeira lei da Termodinâmica é expressa por: $Q = P \,.\, \Delta V + 0$

E pode-se simplificar a relação entre as variáveis de estado:

$$Pi \,.\, Vi = Pf \,.\, Vf = constante \text{ (Lei de Boyle).}$$

Figura 3-Transformação Isotérmica



Fonte: Melo, (2018)

Note que o calor trocado, Q, tem um valor negativo (indicando diminuição de energia do sistema) sempre que o gás se expande, ou seja, quando o volume final é maior que o volume inicial. Para comprimir o gás, é necessário que o ambiente realize trabalho positivo sobre ele, aumentando sua energia interna (Bertulani, 2007).

A curva de transformação isotérmica, também conhecida como curva TTT (Tempo, Temperatura, Transformação), é usada em metalurgia para representar como a estrutura interna de um aço se transforma quando ele é rapidamente resfriado da fase de austenita (uma fase do aço a alta temperatura) e, em seguida, mantido a uma temperatura constante. Essa curva mostra quanto tempo é necessário para que novas fases se formem a diferentes temperaturas constantes. O eixo vertical da curva representa a temperatura, e o eixo horizontal, o tempo necessário para que ocorram as transformações. Já a curva CCT (Continuous Cooling Transformation) mostra o que acontece quando o material é resfriado continuamente, sem parar em uma temperatura específica.

3.3.4 Transformação isovolumétrica

Também conhecido como processo isométrico ou de volume constante, o termo isocórico vem do grego "iso", que significa "constante" ou "igual", e "choric", que quer dizer "espaço" ou "volume". Essa transformação gasosa ocorre em recipientes com paredes rígidas e é descrita pela Lei de Gay-Lussac. Essa lei afirma que a razão entre pressão e temperatura em um gás ideal é sempre constante, com pressão e temperatura sendo diretamente proporcionais: se a pressão dobra, a temperatura também dobra.

Na transformação isovolumétrica, também conhecida como isocórica, o volume permanece constante ao longo do tempo, enquanto a pressão e a temperatura da amostra são alteradas de forma diretamente proporcional. Um exemplo de transformação isovolumétrica ocorre quando se aquece a água em uma panela de pressão (Melo, 2018).

Um processo isocórico é aquele em que o volume permanece constante, ou seja, o volume final é igual ao volume inicial

$$V_f = V_i(\Delta v = 0, dv = 0)$$

Assim, de acordo com a primeira lei da termodinâmica, a quantidade de calor trocada é igual à variação da energia interna (dQ = dU). Isso significa que todo o calor fornecido ou rejeitado resulta em um aumento ou diminuição da energia interna do sistema.

Neste tipo de transformação, não há trabalho realizado (pois dW = P dV = 0, quando o volume é constante). De acordo com a primeira lei da termodinâmica, tem-se que dQ = dU, indicando que o calor total adicionado ou retirado do sistema corresponde ao aumento ou diminuição de sua energia interna. Um bom exemplo de processo isocórico é o ciclo Otto ideal: ao queimar a mistura de gasolina e ar no motor do carro, aumenta-se a temperatura e pressão do gás sem alterar o volume. Em um diagrama PV, este processo é representado por uma linha vertical devido à constância do volume.

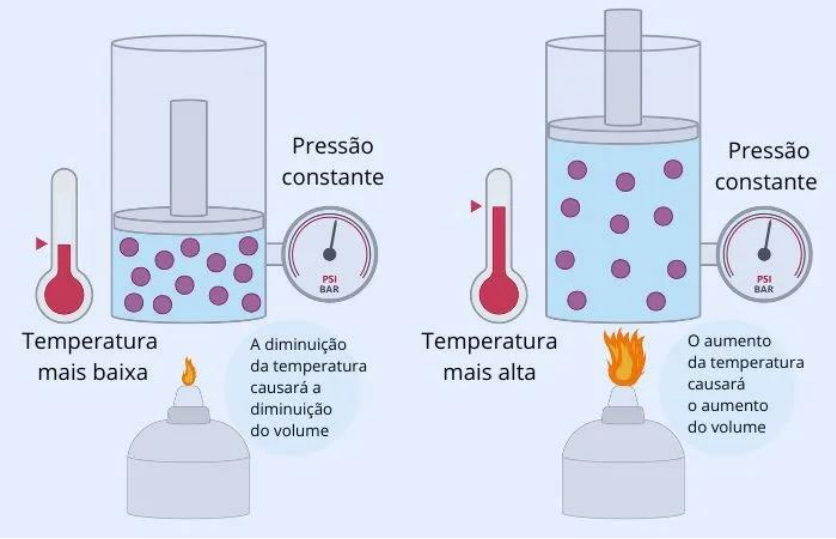
A primeira lei da Termodinâmica é expressa por:

$$Q = 0 + \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta W$$

E pode-se simplificar a relação entre as variáveis de estado:

$\frac{Pi}{Ti} = \frac{Pf}{Tf} = Constante$ (Lei de Charles e Gay-Lussac).

Figura 4-Transformação Isovolumétrica



Fonte: Melo (2018)

3.3.5 Transformação adiabática

A transformação adiabática acontece quando um gás se expande ou sofre compressão de forma tão rápida que as trocas de calor entre ele e suas vizinhanças são insignificantes. Durante essa transformação, a temperatura do gás pode variar. Por exemplo, ao apertar um spray de aerossol, o gás confinado sob alta pressão é expelido

com grande velocidade e sua temperatura diminui drasticamente devido à enorme queda de pressão ao sair do recipiente (Helerbrock, 2018). De acordo com a primeira lei da Termodinâmica, também chamada de conservação da energia, pode-se afirmar que, para qualquer sistema físico:

$$Q = \Delta \cup + W$$

Q= Calor

$\Delta \cup$= variação da energia interna

W = trabalho termodinâmico

A expressão apresentada anteriormente explica que a quantidade de calor (Q) fornecida a um sistema pode ser parcialmente convertida em trabalho (w). A parte remanescente da quantidade de calor se transformará em um aumento da energia interna do corpo (ΔU), resultando, consequentemente, em um incremento da sua temperatura (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Além disso, nas transformações adiabáticas, que são processos sem troca de calor, a 1ª lei da Termodinâmica determina que qualquer mudança na energia em um gás deve ser exatamente igual ao trabalho feito pelo gás ou sobre o gás:

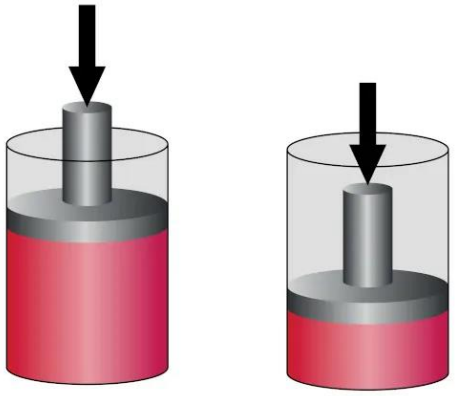
$$0 = \Delta \cup - W$$

$$\Delta \cup = W$$

Nas transformações adiabáticas, os gases podem se expandir ou comprimir.

Na compressão adiabática, um trabalho externo comprime o gás, aumentando sua energia interna e fazendo o pistão mover-se para baixo. Isso resulta em uma diminuição de volume do gás, aumentando sua temperatura e pressão, sem trocas de calor com a vizinhança. Por isso, é usada para aquecer gases, como nas bombas de ar de encher pneus, conforme figura 5 (Nussenzveig, 2016).

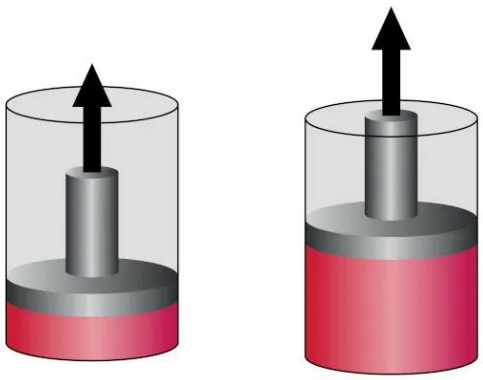
Figura 5- Compressão adiabática, com pistão movendo-se para baixo



Fonte: Melo, (2018)

Na expansão adiabática, o gás se dilata, movendo o pistão para cima e executando um trabalho externo com sua energia interna. Essa expansão aumenta o volume do gás, diminuindo sua temperatura e pressão, sem perdas de calor com a vizinhança. Por isso, é usada para resfriar gases, como nos desodorantes em spray (figura 6) (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Figura 6- compressão adiabática, com pistão movendo-se para cima



Fonte: Melo, (2018)

Quando o sistema recebe trabalho, sendo este considerado negativo, a variação da energia torna-se positiva. Dessa forma, a energia interna do sistema cresce em proporção ao trabalho recebido, uma vez que o sistema está absorvendo energia do ambiente externo.

3.3.6 Gás ideal

O gás ideal, também chamado de gás perfeito, é um tipo de gás que na chamada teoria cinética de gases inúmeras partículas pequenas se movem aleatoriamente com variadas velocidades e interagem através de colisões perfeitamente elásticas (figura 7). Esse conceito é de grande utilidade para o estudo dos gases, uma vez que muitos gases reais apresentam um comportamento parecido com o dos gases ideais sob condições de baixa pressão e alta temperatura. Adicionalmente, o modelo facilita a compreensão das transformações gasosas, da lei geral dos gases, da equação de Clapeyron e das leis da Termodinâmica (Helerbrock, 2019).

A Teoria Cinética de um gás, é frequentemente referida como Modelo de Gás Ideal. Esta teoria ignora as interações entre moléculas e o tamanho finito das mesmas. Tais fatores só se tornam significativos quando o gás está próximo da temperatura de liquefação ou sob pressão extremamente alta (Fowler, 2018).

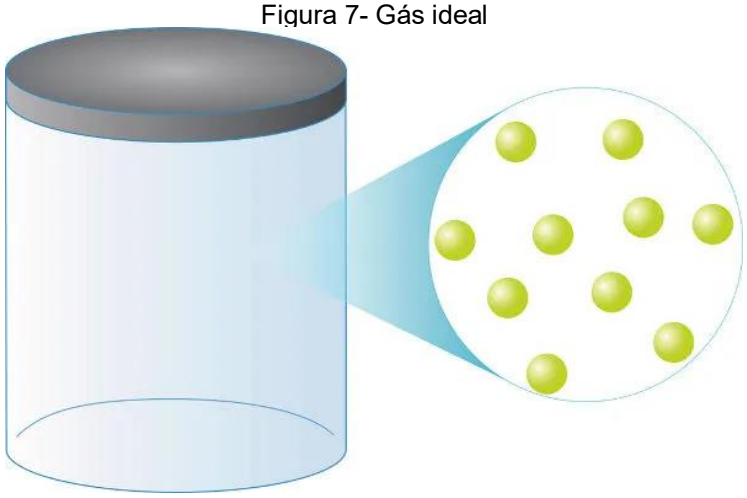
Julius Robert Mayer foi o primeiro a identificar a equivalência entre calor e trabalho mecânico. Embora seu caminho até essa conclusão tenha sido complexo, ele percebeu que a equivalência numérica — a quantidade de Joules em uma caloria — podia ser

descoberta a partir de medições de calor específico do gás feitas por cientistas franceses. A chave estava nas medições de calor específico tanto a volume constante quanto a pressão constante (Fowler, 2018).

Mayer notou que, no caso de aquecimento a pressão constante, o aumento de volume do gás realizava trabalho para expandir o recipiente. Convencido da equivalência entre trabalho mecânico e calor, ele deduziu que o calor extra necessário para aumentar a temperatura do gás a pressão constante correspondia precisamente ao trabalho realizado pelo gás no recipiente. Embora tenha concluído esse trabalho em 1842, ele só o publicou em 1845, inicialmente com um erro de cálculo, corrigido posteriormente para um valor dentro de 1% do valor correto de 4,2 joules por caloria (Fowler, 2018).

Independentemente de quais gases ideais sejam analisados, terão a mesma quantidade de partículas para o mesmo volume, com a massa dessas partículas sendo diretamente ligada à sua massa molar (medida em g/mol). Um mol de gás ideal, que corresponde a aproximadamente 6,0 x 10^{23} partículas, invariavelmente ocupará um volume de 22,4 litros. Já os gases reais, que apresentam colisões inelásticas entre partículas, comportam-se de maneira semelhante aos gases ideais em condições quando está em baixas pressões e altas temperaturas. De forma similar, nas condições normais de pressão e temperatura na Terra (25ºC e 1 atm), a maioria dos gases se comporta como gases ideais, tornando mais simples o cálculo de previsões sobre seu comportamento termodinâmico (Helerbrock, 2019).

Figura 7- Gás ideal



Fonte: (Helerbrock, 2016).

Exemplos como o vapor d'água, presente no gás atmosférico, destacam-se como gases reais devido às interações significativas entre suas partículas, que podem levar à condensação e liquefação com a queda de temperatura (Helerbrock, 2016).

A equação da lei dos gases ideais é expressa por PV = nRT, onde P é a pressão, V é o volume, n é a quantidade de mols de gás, R é a constante universal dos gases e T a

temperatura absoluta. A equação de Van Der Waals, uma versão ajustada dessa lei, inclui os parâmetros a que considera as forças intermoleculares, e b, que representa o volume de 1 mol de moléculas, proporcionando uma representação mais precisa do comportamento dos gases reais (Tenny; Cooper, 2018).

A constante universal dos gases, R, é um valor que relaciona as proporcionalidades de pressão, volume e temperatura, e apresenta diferentes valores e unidades, conforme as especificações dessas variáveis. Esses valores são amplamente aceitos e acessíveis em bancos de dados on-line, ou podem ser determinados por meio da análise dimensional, ajustando-se as unidades observadas de pressão, volume, mols e temperatura para corresponder a um valor conhecido de R. Desde que as unidades sejam consistentes, qualquer abordagem é válida. É necessário que a temperatura na lei dos gases ideais esteja em unidades absolutas, como Rankine (°R) ou Kelvin (K), para evitar que o lado direito da equação se iguale a zero, o que comprometeria a relação pressão-volume-temperatura (Tenny; Cooper, 2018).

Desse modo, de acordo com a teoria cinética dos gases, a velocidade das partículas de um gás ideal está ligada diretamente à temperatura absoluta, que é medida em Kelvin. Assim, quando a temperatura de um gás ideal aumenta, a média da energia em movimento das suas partículas também aumenta.

$$E_C = \frac{3}{2} K_B T$$

K_B – constante de Boltzmann (1,38.10^{-23} J/K)

T – Temperatura absoluta (K)

O número de mols, representado pela letra “n”, é medido em mols (mol). A constante universal dos gases ideais, indicada pela letra “R”, possui valores definidos de 8,31 J/mol.K ou 0,082 atm.L/mol.K.

3.3.7 Máquinas Térmicas

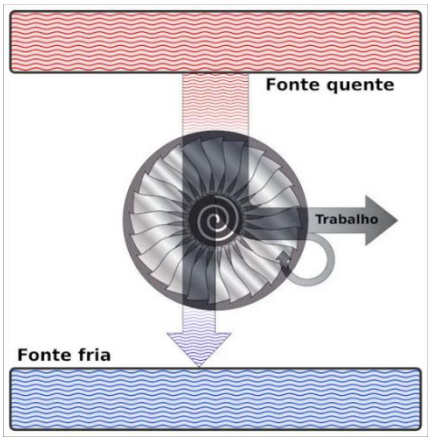
Uma máquina térmica é qualquer dispositivo que converte uma parte do calor em trabalho ou energia mecânica. Geralmente, uma certa quantidade de matéria dentro da máquina absorve ou libera calor, e ela se expande ou se comprime, e, em algumas ocasiões, sofre transição de fase. Essa matéria é chamada de substância de trabalho da máquina. Em motores de combustão interna, a substância de trabalho é a mistura de gasolina e ar; em turbinas a vapor, a substância de trabalho é a água. O tipo mais simples

de máquina é aquele onde a substância de trabalho passa por um ciclo, uma série de processos que, no final, fazem a substância voltar ao estado inicial (Ribeiro, 2023).

Todas as máquinas térmicas pegam calor de uma fonte que está quente, fazem algum trabalho mecânico e depois liberam uma parte desse calor em reservatório de temperatura mais baixa. Do ponto de vista da máquina, esse calor que é liberado está sendo desperdiçado. Em uma máquina a vapor, esse calor desperdiçado é o que precisa ser removido do vapor usado para que a água possa ser condensada e reutilizada. Quando um sistema completa um ciclo, a energia interna no início é igual à energia interna no final. Portanto, em qualquer ciclo, a primeira lei da termodinâmica diz que: $U2 - U1 = 0 = Q - W \Rightarrow Q = W$ ou seja, o calor total que flui para o interior da máquina durante o ciclo é igual ao trabalho líquido realizado pela máquina.

Ao analisar máquinas térmicas, é bom pensar em dois corpos que podem trocar energia com a substância de trabalho: o reservatório com maior temperatura e o reservatório com menor temperatura, figura 8. O reservatório com a temperatura mais elevada é a fonte que fornece grandes quantidades de calor à substância de trabalho a uma temperatura constante TH. O reservatório de temperatura mais elevada pode ceder calor para a máquina sem que sua temperatura mude muito. Já o reservatório de temperatura menor, pode receber bastante calor que a máquina não usa, mantendo sempre a mesma temperatura TC (Ribeiro, 2023).

Figura 8- Máquina térmica



Fonte: (Helerbrock, 2018).

O produto obtido do funcionamento de uma máquina térmica, conhecido como trabalho mecânico, resulta da transformação de uma porção da energia térmica interna em movimento, geralmente através da movimentação de pistões. Esse trabalho também pode ser determinado ao subtrair-se o calor absorvido pela máquina (Q) do calor dissipado durante seu funcionamento.

$$w = Q_Q - Q_F$$

Q_Q – Calor fornecido pela fonte quente (em cal ou J)

Q_F – Calor dissipado para a fonte fria (em cal ou J)

O rendimento de uma máquina térmica, na idealização da máquina de Carnot, depende exclusivamente das temperaturas das fontes quente e fria, expressas em Kelvin:

$$n - 1\frac{T_F}{T_Q}$$

T_F e T_Q – temperaturas das fontes fria e quente (em K)

Para uma máquina térmica real, o rendimento deve ser calculado de forma distinta, considerando diretamente a quantidade de calor absorvido da fonte quente e a quantidade de calor dissipada para a fonte fria. Essa relação pode ser observada da seguinte forma:

$$n = 1 - \frac{Q_F}{Q_Q}$$

O rendimento das máquinas térmicas reais também pode ser definido pela razão entre o trabalho realizado pela máquina e a quantidade total de calor absorvido:

$$n = \frac{W}{Q_Q}$$

Para determinar a potência desenvolvida por uma máquina térmica, divide-se a quantidade de trabalho realizado pelo intervalo de tempo em que esse trabalho foi produzido (Helerbrock, 2022).

$$P = \frac{W}{\Delta T}$$

P – Potência da máquina (em W – watts)

ΔT – Intervalo de tempo (em s)

3.3.8 Motores a combustão

O motor de combustão interna é uma máquina térmica, ou seja, um dispositivo que converte energia térmica em energia mecânica, em outras palavras, motores a combustão são máquinas térmicas responsáveis por converter a energia liberada pela queima de combustíveis fósseis em energia térmica, resultando no funcionamento e movimentação do veículo (Souza; Silva, 2019).

Desse modo, o motor de automóvel é um exemplo de motor de combustão interna, caracterizado pela combustão ocorrendo internamente. Com base nessa informação, pode-se fazer duas observações: Existem diversos tipos de motores de combustão interna, também conhecidos como motores a explosão. Motores a diesel e turbinas a gás são exemplos dessas variações (Moreira; Couto, 2019).

Há também motores de combustão externa, sendo o motor a vapor, utilizado em trens e navios antigos, o exemplo mais representativo. Nesse caso, o combustível (como carvão, madeira ou óleo) é queimado fora do motor para gerar vapor, que então produz movimento dentro do motor (Moreira; Couto, 2019).

A combustão interna é significativamente mais eficiente, consumindo menos combustível por quilômetro rodado, e o motor de combustão interna é bem menor comparado a um motor equivalente de combustão externa.

Para analisar a eficiência de um motor a gasolina, que é um exemplo de máquina térmica utilizado em automóveis e outras máquinas é necessário entender seus processos de operação. No início, durante o tempo de admissão, uma mistura de ar e gasolina entra no cilindro através da abertura da válvula de admissão, forçando o pistão a descer e aumentando o volume do cilindro de um valor mínimo *V* até um valor máximo *rV*. Aqui, r representa a razão de compressão, que nos automóveis modernos varia entre 8 e 10 (Ribeiro, 2023).

Após, a válvula de admissão se fecha e a mistura é comprimida de forma quase adiabática até alcançar novamente o volume V, no tempo de compressão. Em seguida, no tempo motor ou tempo de potência, a mistura aquecida sofre ignição devido a uma centelha, causando a expansão do gás de maneira aproximadamente adiabática até atingir novamente o volume rV. Esse processo empurra o pistão para baixo, realizando trabalho.

Finalmente, a válvula de exaustão se abre, e o pistão sobe, empurrando os resíduos da combustão para fora e reduzindo o volume do cilindro novamente para *V.* Este é o tempo de exaustão, que deixa o cilindro pronto para retornar ao tempo de admissão.

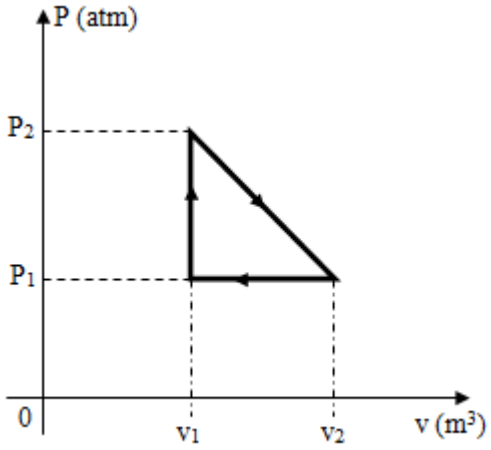
3.3.9 Ciclo Termodinâmico

Um ciclo termodinâmico, demonstrado na figura 9, é definido como a repetição de sequências de transformações físicas que um sistema realiza com o objetivo de efetuar trabalho. Esses ciclos são fundamentais no funcionamento da maioria dos veículos e motores de calor, constituindo uma série de transformações gasosas repetidas ao longo de um processo. Ao final dessas transformações, o sistema retorna ao estado inicial, reiniciando o ciclo. Segundo a lei de conservação de energia, em um ciclo termodinâmico

a soma do calor e trabalho recebidos pelo sistema deve ser igual à soma do calor e trabalhos realizados por ele (Wylen; Sonntag; Borgnakke, 1998).

Um ciclo típico envolve uma série de processos que transferem calor e trabalho, variando a pressão, temperatura e outras variáveis de estado, e eventualmente retornam o sistema ao seu estado inicial. Dessa forma, um ciclo termodinâmico pode ser compreendido como um conjunto de processos sucessivos nos quais o sistema volta à sua condição inicial, de modo que a variação líquida do valor de cada grandeza do sistema se anula (Wylen; Sonntag; Borgnakke, 1998).

Figura 9- Representação do Ciclo Termodinâmico



Fonte: Santos, Cruz, (2017)

Os ciclos termodinâmicos podem ser classificados como ciclos a gás ou ciclos a vapor, conforme a fase do fluido de trabalho. Em ciclos a vapor, o fluido de trabalho alterna entre as fases líquida e de vapor, enquanto nos ciclos a gás, ele permanece na fase gasosa durante todo o processo. Outra classificação relevante distingue os ciclos termodinâmicos em ciclos fechados e abertos. No ciclo fechado, o fluido de trabalho não é substituído, enquanto no ciclo aberto, o fluido de trabalho é renovado a cada ciclo (Cengel; Cimbala, 2015).

Em contraste, os ciclos de bomba de calor utilizam trabalho mecânico para transferir calor de temperaturas mais baixas para mais altas. Este princípio é essencial tanto para refrigeradores quanto para bombas de calor, uma vez que ambos deslocam calor de uma área fria para uma área quente. A execução dos ciclos termodinâmicos depende de processos termodinâmicos específicos, que geralmente incluem processos adiabáticos, isotérmicos, isobáricos e isocóricos (Silva, 2017).

Os ciclos termodinâmicos constituem processos que um sistema realiza com o objetivo de obter trabalho do sistema ou realizar trabalhos sobre ele. Cada tipo de motor possui um processo distinto para a obtenção de trabalho a partir do sistema. Por exemplo,

o ciclo que governa o funcionamento do motor a diesel é diferente do ciclo que rege o motor a gasolina ou álcool. Ambos ainda diferem do ciclo a vapor, e todos se distanciam do conceito de um ciclo ideal (Schulz, 2009).

3.3.10 Teorema de Carnot

O Teorema de Carnot, proposto em 1824, estabelece que mesmo a máquina térmica ideal, que não dissipa energia devido ao atrito entre suas partes móveis, possui um limite máximo de rendimento. Salienta-se que esse teorema é um princípio essencial da termodinâmica, estabelece que nenhuma máquina térmica pode alcançar maior eficiência do que uma máquina de Carnot funcionando entre duas temperaturas específicas.

Esse rendimento depende da razão entre as temperaturas de sua fonte de maior e menor temperatura, expressas em Kelvin:

$$1 - \frac{T_F}{T_Q}$$

Ao analisar a fórmula acima, nota-se que o rendimento da máquina térmica ideal é determinado exclusivamente pelas temperaturas de suas fontes de maior e menor temperatura. Para que o rendimento fosse de 100%, seria necessário que TF fosse nulo, ou seja, 0 K, a temperatura do zero absoluto. No entanto, conforme a 3ª Lei da Termodinâmica, tal temperatura é inatingível (Helerbrock, 2019).

A fórmula de rendimento apresentada é válida apenas para as máquinas térmicas que operam de acordo com o ciclo de Carnot. Além disso, o teorema demonstra que a razão entre as temperaturas TF e TQ é igual à razão entre as quantidades de calor QF e QQ:

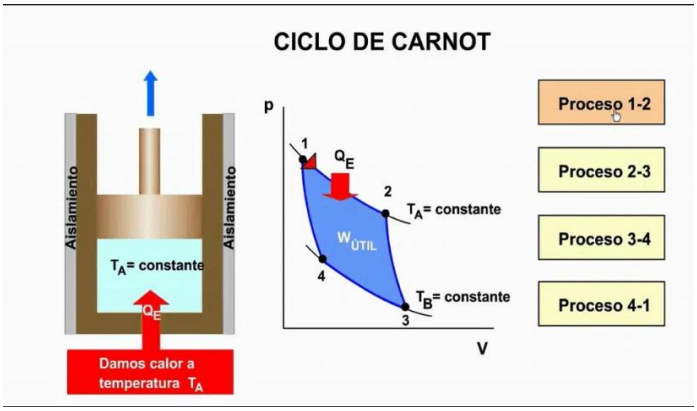
$$\frac{T_F}{T_Q} = \frac{Q_F}{Q_Q}$$

3.3.11 Ciclo de Carnot

A máquina térmica de Carnot, proposta teoricamente por Nicolas Léonard Sadi Carnot em 1824, constitui-se em um modelo ideal reversível. O ciclo de Carnot é caracterizado por dois processos isotérmicos e dois adiabáticos, apresentando a máxima eficiência térmica possível para um motor operando entre dois limites de temperatura (Costa, 2013).

Dado que o ciclo de Carnot exibe a máxima eficiência teórica, ele é amplamente utilizado como referência para comparar o rendimento de outras máquinas térmicas.

Figura 10- Ciclo de Carnot



Fonte: Curado, (2023)

O primeiro estágio do ciclo é um processo isotérmico no qual o vapor, tratado como gás ideal, à temperatura T_q, se expande do ponto 1 ao ponto 2, realizando trabalho. Em seguida, ocorre um resfriamento adiabático do vapor do estado 2 até o estado 3, atingindo a temperatura T_f. Após atingir a menor temperatura, inicia-se o terceiro processo isotérmico, comprimindo o vapor do estado 3 até o estado 4. A última etapa é um aquecimento adiabático até o restabelecimento da temperatura inicial Tq (Dullius, 2019).

O processo isotérmico inicial ocorre com temperatura constante, o que permite simplificar a análise e determinar diretamente a quantidade de calor fornecida ao vapor nessa etapa. Como não há variação na energia interna, todo o calor recebido é convertido em trabalho realizado pelo gás durante a expansão, assim sendo: (ΔS → Variação da entropia de um sistema).

$$Q_{ent=T_q}\Delta S$$

De maneira análoga, a Equação imediatamente abaixo, descreve o calor rejeitado pelo vapor:

$$Q_{sai} = T_f \Delta S$$

O trabalho útil fornecido pelo motor é a diferença entre o calor transferido ao vapor e o calor rejeitado pelo mesmo, representado por:

$$w_{útil} = IQ_{ent}I - IQ_{sai}I = Q_{ent} + Q_{sai}$$

Carnot define a eficiência máxima de uma máquina térmica como a razão entre o trabalho útil e o calor fornecido pela fonte quente:

$$\eta_{Carnot} = \frac{W_{útil}}{Q_{ent}} = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

4. PRODUTO EDUCACIONAL

Vamos agora apresentar e discutir o produto educacional desse trabalho constituído por animações computacionais elaboradas no ambiente virtual VPython que simulam os principais processos termodinâmicos.

Conforme mencionado o intuito através do nosso produto é desenvolver um ambiente pedagógico que visa analisar e compreender as grandezas temperatura e pressão e também os processos termodinâmicos associados, isotérmico, isobárico e isovolumétrico, através da visão microscópica proporcionada pela riqueza visual do simulador. Assim acreditamos que os elementos microscópicos presentes no ambiente virtual possuam aspecto/caráter elucidativo revelando um cenário bastante didático e desse modo propício para o aprendizado dos conceitos envolvidos, ou seja, que deva, portanto, esclarecer o aluno sobre o significado das grandezas e dos conceitos físicos fundamentais da termodinâmica.

No segundo capítulo, destacamos a importância das TDICs no ensino de Física, suas principais características, incluindo a riqueza visual do ambiente virtual e a capacidade de interação direta com o simulador ao ajustar os valores das variáveis físicas do experimento, promovendo uma participação mais ativa dos alunos no processo de aprendizado.

O tema abordado nas simulações refere-se aos processos termodinâmicos de um gás ideal mediante sua descrição microscópica. Este tema é crucial, pois sua compreensão é fundamental para entender muitos fenômenos físicos e suas aplicações, especialmente nas transformações gasosas, dentro da Termodinâmica. É importante frisar que o nosso foco está associado a uma visão microscópica, que não pode ser percebido diretamente por nossos sentidos, necessitando, portanto, de um modelo ou representação para o seu melhor entendimento.

A simulação no ambiente VPython permitirá que observemos e analisemos esse fenômeno por meio de detalhes visuais e geométricos do nosso cenário tridimensional, que se modifica no espaço e no tempo. A criação das animações foi realizada mediante a elaboração de códigos em Python, disponíveis no apêndice da dissertação. A principal vantagem de utilizar os códigos próprios, em vez de simuladores de terceiros, é a possibilidade de criar um espaço pedagógico adaptado à metodologia escolhida, refletindo as especificidades do conteúdo a ser ensinado. Além disso, os códigos em Python são relativamente acessíveis, dispensando um conhecimento avançado em programação, e há uma ampla variedade de tutoriais e fóruns disponíveis para suporte em diferentes níveis de dificuldade.

Quanto à utilização do VPython, ele pode ser instalado no computador através do download dos instaladores disponíveis https://www.glowscript.org/. O site oficial oferece um manual abrangente sobre o simulador, que inclui tutoriais destinados a iniciantes que desejam aprender a programar com ele. Além disso, a plataforma oferece uma variedade de exemplos de animações, possibilitando que os usuários se registrem e comecem a desenvolver suas próprias simulações. Vale ressaltar que o VPython é um software livre que é compatível com os principais sistemas operacionais, como Windows, Linux e MacOS. Embora seja possível instalar e usar o VPython offline, os alunos, sob a supervisão de um professor ou mediador, têm a opção de criar e executar códigos através de sua versão online no site supramencionado. Essa versão permite que os usuários salvem seus projetos na nuvem sem custos e compartilhem arquivos com outros interessados em aprender ou ensinar conceitos de Física relacionados.

À seguir iremos apresentar os elementos constituintes do nosso simulador virtual e também descrever os seus principais atributos.

4.1 Temperatura

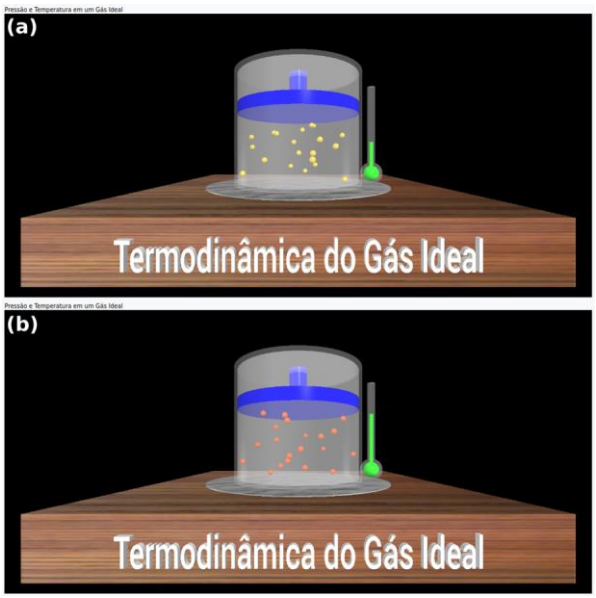
O primeiro elemento considerado no simulador corresponde a grandeza temperatura T. Trata-se de uma grandeza macroscópica, mas que é definida à partir de grandezas microscópicas conforme a expressão à seguir,

$$T = \frac{2}{3k_b}\left(\frac{1}{2}m\overline{v^2}\right) \tag{1}$$

sendo, $\overline{v^2}$, a velocidade quadrática média das moléculas do gás, m a massa de cada molécula e k_b a constante de Boltzmann. Com o auxílio dessa expressão podemos notar que a temperatura está relacionada diretamente com a energia cinética média das moléculas, em particular, com a sua velocidade quadrática, o que significa que a temperatura do gás no recipiente diminui (aumenta) se $\overline{v^2}$ (diminuir) aumentar.

A figura 11 é constituída por dois instantes distintos capturados do simulador, mostrando bolinhas representando as moléculas do gás ideal confinado no recipiente. Na imagem (a) temos as bolinhas na cor amarela indicando que a velocidade das moléculas está reduzida e, assim, a temperatura do gás também está reduzida conforme a expressão (1). No simulador existe um termômetro confirmando essa situação revelada na pequena altura da sua coluna na cor verde.

Figura 11- Simulador do gás ideal mostrando o sistema em dois momentos de temperaturas diferentes.



Fonte: Autoria própria

Na imagem (b) da figura temos uma outra situação, as moléculas representadas em cor mais forte, avermelhada, indicando agora que as suas velocidades são maiores que a situação definida anteriormente. Nesse caso a temperatura do gás é então maior que a temperatura anterior, situação confirmada pelo aumento da altura da coluna do termômetro.

Com base nessa discussão podemos perceber que os elementos do simulador, cor das bolinhas e altura da coluna do termômetro, são fundamentais para a compreensão da temperatura, revelando o que é essa grandeza e sua variação no sistema termodinâmico.

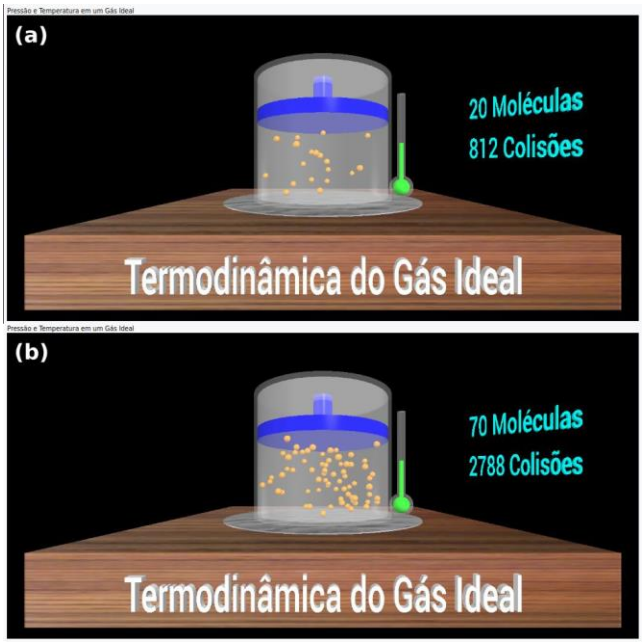
4.2 Pressão

Outra grandeza abordada no simulador é o da pressão. A sua relação com as grandezas microscópicas é apresentada na expressão abaixo,

$$P = \frac{2}{3}\frac{N}{V}\left(\frac{1}{2}m\overline{v^2}\right) \tag{2}$$

que além de depender da energia cinética média das moléculas, depende também do número total N de moléculas no gás e do volume V que ele ocupa no recipiente.

Figura 12- Simulador do gás ideal mostrando o sistema em dois momentos de temperaturas diferentes (2).



Fonte: Autoria própria

Entendemos que o conceito de pressão está diretamente ligado ao número de colisões das moléculas, em um intervalo de tempo, com as paredes do recipiente. Desse modo a pressão deve aumentar se o número de colisões também aumentar e vice-versa.

Para uma melhor compreensão dessa situação a figura 12 apresenta uma simulação do gás analisando a pressão em função do número N de moléculas. Na imagem (a) é simulado o gás em condições de baixa concentração e para esse propósito foram consideradas apenas 20 bolinhas. Após algum tempo (alguns segundos) de execução o simulador fornece o total de colisões ocorridas no recipiente, nesse caso registrando 812 colisões, o que corresponderá a um certo valor de pressão. Na simulação descrita pela imagem (b) houve alteração na quantidade de moléculas, aumentando para 70 bolinhas, e como consequência foi registrada 2.788 colisões. Essa mudança permitiu observar que ocorre uma variação no total de colisões e, portanto, com a pressão do gás. Estudar o sistema termodinâmico promovendo a associação da pressão com o número de colisões auxiliada pela riqueza visual do simulador vem a colaborar para um melhor entendimento desse conceito.

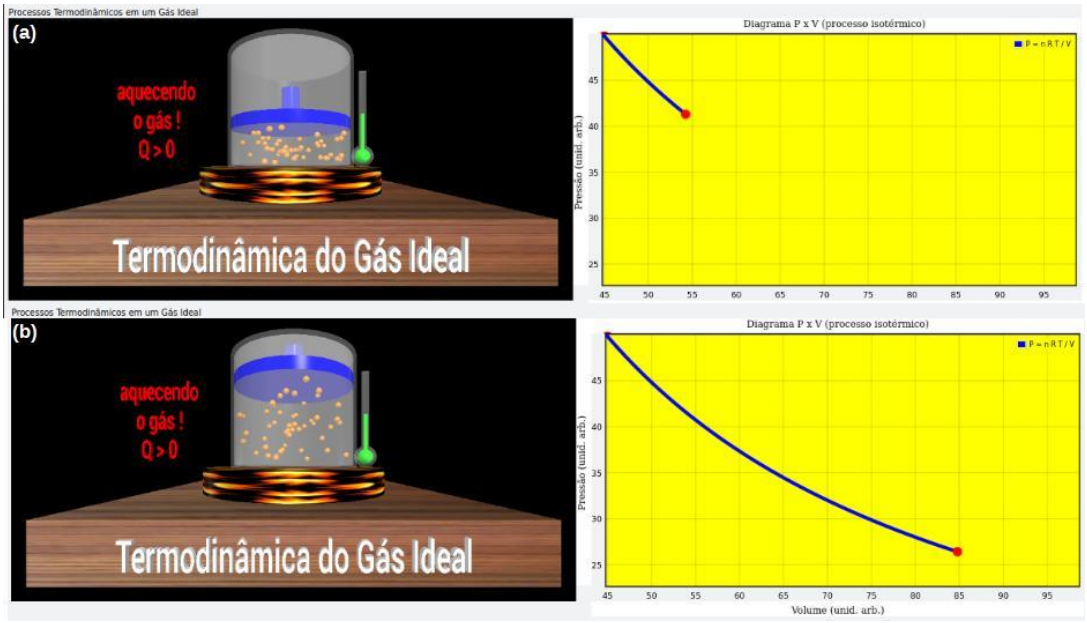
É conveniente destacar que embora não seja perceptível identificar todas as colisões que ocorrem no recipiente para um número elevado de bolinhas consideradas, o ambiente virtual ainda fornece uma visão ampla valiosa que aumentando o número de bolinhas (mantendo-se o volume e a temperatura constantes) as colisões por unidade de tempo também aumentarão, o que é essencial para se notar a variação de pressão ocorrida no simulador. Outras situações não abordadas aqui, mas que também podem ser simuladas

no nosso produto educacional, seriam analisar a variação de pressão do gás por meio das mudanças do volume V do recipiente e da energia cinética $\frac{1}{2}m\overline{v^2}$ das moléculas.

4.3 Processo isotérmico

Além do estudo da temperatura e da pressão do gás ideal, o simulador fruto do nosso produto educacional também aborda alguns processos termodinâmicos. Nessa seção discutiremos os atributos do processo isotérmico, ou seja, a transformação sofrida pelo gás durante a qual mantém-se a temperatura constante.

Figura 13- Processo Isotérmico



Fonte: Autoria própria

A figura 3 mostra dois momentos distintos do simulador, e em cada momento notamos agora uma imagem adicional que define o diagrama P-V do processo isotérmico. Nesse caso temos, com base na equação de estado do gás ideal,

$$P = \frac{nRT}{V} \tag{3}$$

em que nRT é constante pois a concentração n permanece fixa. A pressão P muda então com o volume V conforme uma função do tipo hipérbole. Os dois momentos da figura esclarecem o processo termodinâmico em questão. Durante a transformação isotérmica do gás identifica-se no simulador que a cor das bolinhas (moléculas) e a coluna do termômetro não se alteram revelando desse modo que T é constante. O volume do recipiente se expande nesse processo, via fornecimento de calor ao sistema de forma que a pressão do gás, agora com maior espaço para a ocupação das moléculas no recipiente, deve diminuir

obedecendo a equação (3). A mudança de P com V pode ser acompanhada através da atualização em “tempo real” do diagrama $P-V$ da figura 13.

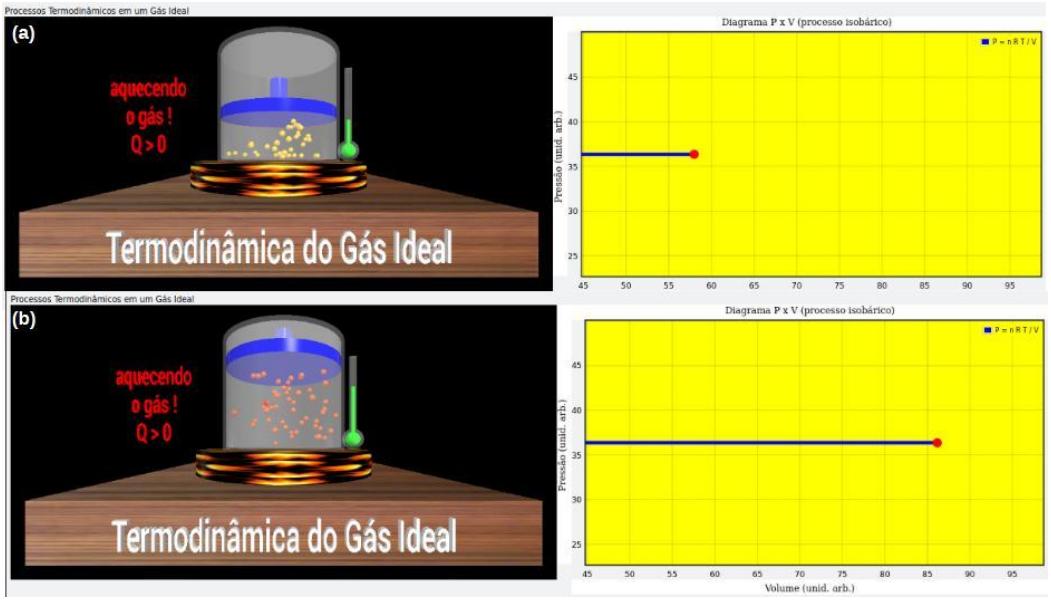
4.4 Processo isobárico

O segundo processo termodinâmico a ser simulado no nosso produto é o isobárico, caracterizado por uma transformação no gás mediante à pressão P constante. Na descrição desse processo é conveniente representar a equação (3) de acordo com,

$$T = \frac{P}{nR}V \tag{4}$$

à partir da qual notamos, para $\frac{P}{nR}$ constante, uma variação linear da temperatura T com o volume V do recipiente.

Figura 14- Processo Isobárico



Fonte: Autoria própria

Essa situação é mostrada na figura 14 apresentando a simulação do gás ideal durante uma expansão isobárica. Analisando os dois momentos (a) e (b) da figura identificamos na evolução do sistema um gradiente na cor das bolinhas que representam as moléculas, alterando-se do amarelo para o vermelho, assim como o aumento da coluna do termômetro. Ambas as situações revelam o aumento da temperatura do gás durante a expansão do volume do recipiente. O aumento de V indica também que o gás realiza trabalho W pois,

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV = P\left(V_f - V_i\right) \tag{5}$$

assume o valor positivo, sendo, $V_f > V_i$. A figura 14 também mostra a representação gráfica do diagrama $P - V$ confirmando que P de fato não está variando com V durante o processo isobárico.

De acordo com a discussão promovida podemos afirmar que o simulador juntamente com os seus elementos integrantes exibidos, constituem um ambiente pedagógico dinâmico apropriado, interativo e atraente para o aprendizado de um sistema termodinâmico, ambiente condizente com a realidade do discente contemporâneo.

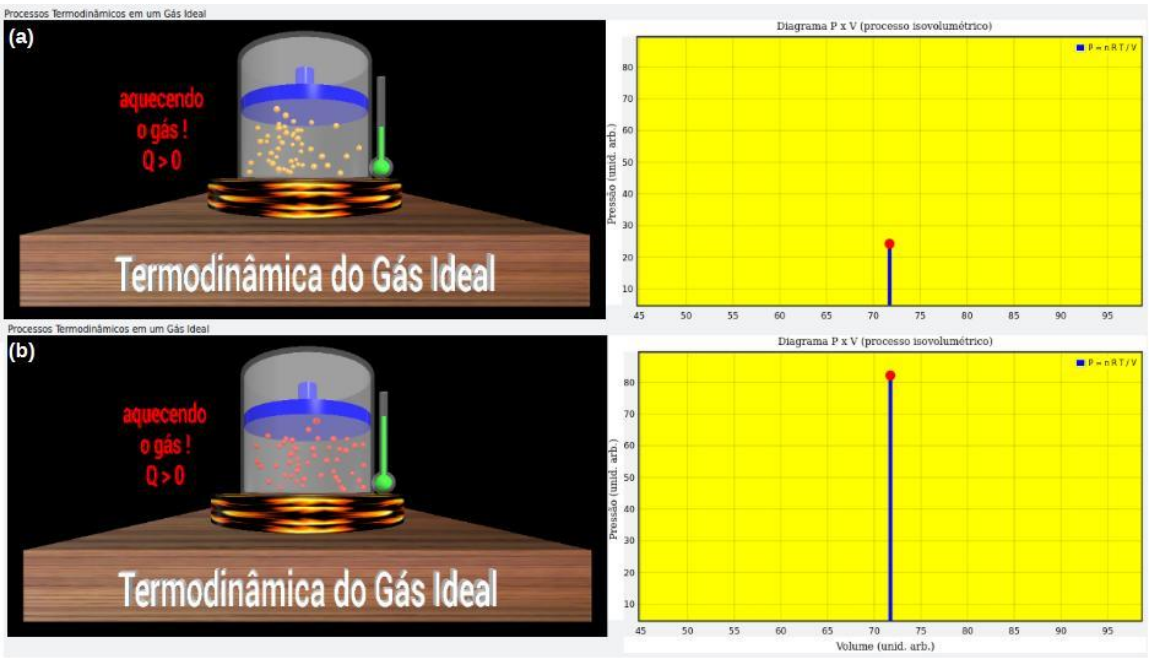
4.5 Processo isovolumétrico

A última situação tratada no nosso produto educacional é a simulação do processo isovolumétrico do gás ideal que consiste na transformação termodinâmica ocorrida à volume V constante. Olhando novamente para a equação (3) do gás,

$$P = \frac{nR}{V}T \tag{6}$$

temos que $\frac{nR}{V}$ é constante e que agora P muda linearmente com T. Examinando inclusive a equação (2) notamos que nesse processo a pressão será modificada caso alteremos a energia cinética das moléculas do gás que pode acontecer por meio de seu aquecimento ou resfriamento, isto é, por troca de calor com a vizinhança. Dos três processos termodinâmicos abordados na simulação esse é o único em que não ocorre a realização de trabalho.

Figura 15- Processo Isovolumétrico



Fonte: Autoria própria

A figura 15 mostra dois momentos distintos (a) e (b) durante a transformação isobárica do gás ideal. Podemos identificar que no ambiente do simulador como também no diagrama $P - V$ que de fato o volume do recipiente não está mudando. Por outro lado, presenciamos o aumento da temperatura, devido a alteração de cor (da amarela para a vermelha) das bolinhas/moléculas e o aumento da coluna do termômetro, ocasionando consequentemente o aumento da pressão do gás.

Assim, com base na discussão nesse capítulo, podemos concluir que os atributos apresentados associados ao simulador do gás ideal, como a riqueza visual atraente e divertida e a interatividade, ligados a uma metodologia de ensino adequada, torna-se uma poderosa ferramenta pedagógica do mundo moderno, aliada não somente ao aprendizado dos conceitos termodinâmicos tratados nesse trabalho, mas que a ideia possa ser estendida e aplicada para o estudo de qualquer conteúdo de física.

5. METODOLOGIA

A metodologia para realização deste produto educacional seguiu uma abordagem mista de caráter qualitativo e quantitativo, com um foco específico na aplicação prática, experimentos laboratoriais práticos e no uso de tecnologias interativas para o ensino de processos termodinâmicos. A abordagem mista foi escolhida para proporcionar uma compreensão abrangente tanto dos aspectos pedagógicos quanto do impacto real na aprendizagem dos alunos.

A coleta de dados compreendeu também a avaliação qualitativa através da observação do engajamento dos alunos, registros fotográficos durante as aulas, e feedback dos próprios estudantes sobre o uso do simulador VPython.

O presente estudo foi desenvolvido com o intuito de criar, aplicar e avaliar um produto educacional inovador destinado ao ensino de processos termodinâmicos de um gás ideal mediante sua descrição microscópica, utilizando o ambiente 3D VPython. A metodologia adotada abrange várias etapas sistemáticas, desde a fase inicial de planejamento e fundamentação teórica até a implementação e avaliação final.

5.1 Tipo de Método

Este projeto foi estruturado como uma pesquisa-ação, que serve principalmente como uma estratégia para o desenvolvimento de professores e pesquisadores, capacitando-os a usar suas investigações para melhorar suas práticas de ensino e, consequentemente, o aprendizado dos alunos (Tripp, 2005), onde a intervenção educativa foi implementada, observada, e ajustada de acordo com o feedback dos participantes e as observações do pesquisador.

5.2 Local do Estudo

Esse produto foi aplicado no CEPI Centro de Ensino em Período Integral Polivalente Antônio Carlos Paniago, localizado à Rua 06 A, nº 87, Bairro Martins, em Mineiros – GO. Esse projeto constriu-se no intuito de encontrar caminhos para viabilizar uma aprendizagem mais significativa com uma abordagem inovadora dos conhecimentos físicos da Termodinâmica aos alunos do Ensino Médio, visto não ser esta a realidade que se percebe nas salas de aula públicas do Ensino Médio no Estado de Goiás. Esse Produto Educacional apresenta alguns passos utilizados na construção do ambiente virtual do VPython - como uma ferramenta pedagógica poderosa - e visa melhorar através da programação em 3D e computacional os conhecimentos da Física e principalmente da Termodinâmica.

Este produto educacional apresenta uma sequência didática de 14 aulas de 50 minutos cada, com uma média de 30 alunos por aula, e servirá de referência para a elaboração da dissertação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Pontal do Araguaia – Polo Barra do Garças, intitulado “Estudo de Processos Termodinâmicos de um Gás Ideal mediante sua descrição microscópica: uma proposta utilizando o ambiente 3d VPython”.

5.3 População Alvo e Amostra

A população alvo deste estudo foram os alunos do ensino médio. A amostra foi constituída por 30 alunos da 2ª série do ensino médio, que se voluntariaram para participar do estudo, realizada entre os meses de abril e maio de 2024.

5.4 Ferramentas

As ferramentas utilizadas foram VPython, utilizada como ferramenta principal para simulações 3D dos processos termodinâmicos.

Também foi utilizado o Kahoot! para quizzes interativos que reforçaram o aprendizado. Para coletar o feedback dos alunos foi utilizado atividades impressas. Por último, utilizou-se o Microsoft Excel, para a análise quantitativa dos dados coletados nos pré e pós-testes.

5.5 Procedimentos e aplicação do Ciclo Kellyano

Foi planificada uma sequência didática de 14 aulas de 50 minutos cada. O planejamento incluiu uma combinação de aulas teóricas, atividades práticas, e uso de simulações 3D com VPython. Este ambiente computacional foi escolhido por sua capacidade de facilitar a criação de animações e visualizações 3D interativas, tornando os conceitos de termodinâmica mais tangíveis para os alunos.

Assim, foi implementado o produto educacional em uma sequência didática detalhada de 14 aulas, distribuída em cinco etapas principais baseadas no Ciclo de Experiência de Kelly (CEK): Antecipação, Investimento, Encontro, Validação e Revisão Construtiva.

A primeira etapa envolveu dinâmicas iniciais e a aplicação de um pré-teste para avaliar o conhecimento prévio dos alunos. O pré-teste consistiu-se em uma atividade, que

abordavam conceitos fundamentais de termodinâmica como temperatura, pressão, calor e volume.

Nas duas primeiras aulas, os alunos participaram de dinâmicas de grupo para descobrir o tema da sequência didática, seguidas pela aplicação de um pré-teste. Este teste, composto por 10 questões majoritariamente objetivas, avaliou o nível inicial de conhecimento dos estudantes sobre termodinâmica.

A segunda etapa, denominada “Investimento”, realizadas nas aulas 3 e 4 consistiu em duas aulas sobre átomos, moléculas, matéria e estados da matéria. Estas aulas foram complementadas pela utilização de vídeos educativos e muitas curiosidades sobre o tema que iríamos abordar, para despertar o interesse dos estudantes.

Na terceira etapa, realizadas nas aulas 5 a 8, intitulada “Encontro”, foi introduzido o conteúdo do trabalho, abordando a termodinâmica, os gases ideais e os processos isotérmicos, isovolumétricos e isobáricos. Os alunos manipularam variáveis como temperatura, volume e pressão, utilizaram o Kahoot! para reforçar os conceitos, elaboraram mapas mentais e realizaram experimentos no laboratório.

A partir da quarta etapa, “Validação”, realizada nas aulas 9 a 13 envolveram a aplicação prática dos conceitos em diversas simulações. Os alunos documentaram os resultados das simulações em planilhas e participaram de discussões guiadas sobre as observações. A atividade final consistiu em responder questões baseadas nas simulações realizadas. Nesta etapa, o foco foi a simulação de processos termodinâmicos utilizando o VPython no ambiente de programação Glowscript.

Nesta fase, os alunos trabalharam diretamente com os códigos no VPython para simular transformações isotérmicas, isovolumétricas e isobáricas em gases ideais. Cada aluno teve acesso a um Chromebook para realizar as simulações. Eles foram guiados para realizar várias alterações nos códigos, observando e registrando o número de colisões das partículas e as variações de volume, pressão e temperatura dos gases.

De forma específica, simula-se transformações isotérmicas ao fixar a temperatura das partículas (velocidade) enquanto o volume e a pressão variavam inversamente. Para transformações isobáricas, os alunos observaram um aumento do volume com a temperatura fixa, mantendo a pressão constante; já para transformações isovolumétricas, volume fixo com variação proporcional de temperatura e pressão. Os resultados das simulações foram registrados pelos alunos para análise posterior.

Finalmente, na etapa de “Revisão Construtiva”, na aula final (aula 14) foi aplicado um pós-teste para avaliar a assimilação dos conceitos. Este incluiu questões abordando

todos os processos termodinâmicos simulados, ressaltando transformações isotérmicas, isobáricas e isovolumétricas, além de questões sobre a eficiência das máquinas térmicas.

Os dados foram coletados através dos pré-testes, observações das atividades, feedback dos alunos, e pós-testes. A análise quantitativa dos testes pré e pós possibilitou a medição do ganho de conhecimento, enquanto a análise qualitativa das observações e feedback proporcionou insights sobre o engajamento e a percepção dos alunos em relação ao uso das simulações 3D do VPython.

Assim, as mudanças observadas incluíram maior engajamento e compreensão dos conceitos, desenvolvimento de habilidades computacionais e aplicação prática dos conhecimentos teóricos. Esse método não apenas facilitou o aprendizado, mas também o tornou mais estimulante e eficaz.

6. APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A aplicação do produto, segue integralmente o CEK (Ciclo de Experiência de Kelly), frequentemente chamado de Ciclo do Experimento ou Ciclo de Construção Pessoal, é uma ideia fundamental na teoria dos construtos pessoais, formulada pelo psicólogo George Kelly em 1955. Essa teoria destaca a maneira como os indivíduos elaboram e verificam suas percepções e entendimentos do mundo que os rodeia. Kelly propôs que os seres humanos atuam como "cientistas", formulando hipóteses e testando-as de forma constante através de suas relações com o ambiente e com os outros.

O ciclo, por sua natureza, é uma sucessão incessante e dinâmica que envolve cinco fases principais. Abaixo, apresentaremos uma descrição de cada uma dessas etapas:

ANTECIPAÇÃO: é o momento de checagem ou verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre a Termodinâmica.

INVESTIMENTO: momento dedicado a fomentar o interesse dos alunos para o tema, levando-os a estarem propícios para o próximo momento.

ENCONTRO: este momento é dedicado a experiência em si do conteúdo, onde o aluno confronta a sua realidade e conceitos preexistentes, com a realidade apresentada pelo entendimento científico.

REVISÃO OU VALIDAÇÃO: momento em que os alunos são levados a confirmar ou discordar de seus construtos.

REVISÃO CONSTRUTIVA: neste último momento, nos dedicamos a realizar atividades referentes a reflexão da discussão.

No quadro abaixo, sintetizamos como se concretizou cada uma dessas etapas, que aconteceram entre os dias 11 de abril de 2024 e 09 de maio de 2024, na aplicação do PE:

Etapa	**Período**	**Campos de experiências**	**Atividade**
1ª etapa: **ANTECIPAÇÃO**	02 aulas	**PRÉ-TESTE**	**AULA 01** Uma dinâmica para apresentar o tema. **AULA 02** Foi aplicado um pré-teste (atividade impressa) para ver o nível de conhecimento dos estudantes em relação a esse conteúdo. (10 questões maioria subjetivas)
2ª etapa: **INVESTIMENTO**	02 aulas	**ÁTOMO: TIJOLO DA MÁTERIA**	**AULAS 03 e 04** Vídeos e curisidades sobre o tema. Introdução aos átomos, moléculas e a matéria e seus estados.

3ª etapa **ENCONTRO**	04 aulas	**GRANDEZAS, AS LEIS DA TERMODINÂMICA E GÁS IDEAL**	**AULAS 05 e 06** Leis da termodinâmica e construção de um mapa conceitual: Temperatura (descrição microscópica); Pressão (descrição microscópica); Volume e a função de gás em máquina térmica. **AULA 07** Máquinas témicas. Jogo Kahoot! **AULA 08** Gás ideal Isotérmico Isobárico Isovolumétrico Adiabático O estado do gás descrito pela equação: PV=nRT
4ª etapa **VALIDAÇÃO**	05 aulas	**SIMULAÇÃO VPYTHON**	**AULA 09** Apresentação da plataforma Vpython e instalação nas máquinas da escola e manuseio dentro das ferramentas já existentes. Apresentação do nosso ambiente (O código) **AULA 10 e 11** Usando o código no ambiente Vpython para trabalhar as transformações isotérmicas. Usando o código no ambiente Vpython para trabalhar as transformações isovolumétricas. **AULA 12 e 13** Usando o código no ambiente Vpython para trabalhar as transformações isobáricas e adiabáticas.
5ª etapa **REVISÃO CONSTRUTIVA**	01 aula	**PÓS-TESTE**	**AULA 14** Pós teste sobre o conteúdo trabalhado no ambiente Vpython.

Acervo: Autoria própria, 2024.

6.1 Antecipação

A primeira etapa da aplicação do Produto Educacional, contou com duas aulas. A primeira delas foi dedicada a uma dinâmica inicial, em formato de uma gincana, onde a turma foi dividida em dois grupos de 15 participantes cada, que competiram entre si. Da seguinte forma:

1º Momento – participantes escolhidos do grupo 1 e 2, receberam uma sílaba da palavra TER-MO-DI-NÂ-MI-CA, sem olhar sua sílaba até o comando do professor. Assim que receberem o comando, como uma espécie de quebra-cabeça, montaram a palavra e, pontuou a equipe que conseguiu formá-la corretamente em menos tempo (em seguida continuamos a brincadeira com outras palavras relacionadas ao tema ex: I-SO-VO-LU-MÉ-TRI-CA, I-SO-TÉR-MI-CA, I-SO-BÁ-RI-CA, A-DI-A-BÁ-TI-CA, TEM-PE- RA-TU-RA, MO-LÉ-CU-LAS)

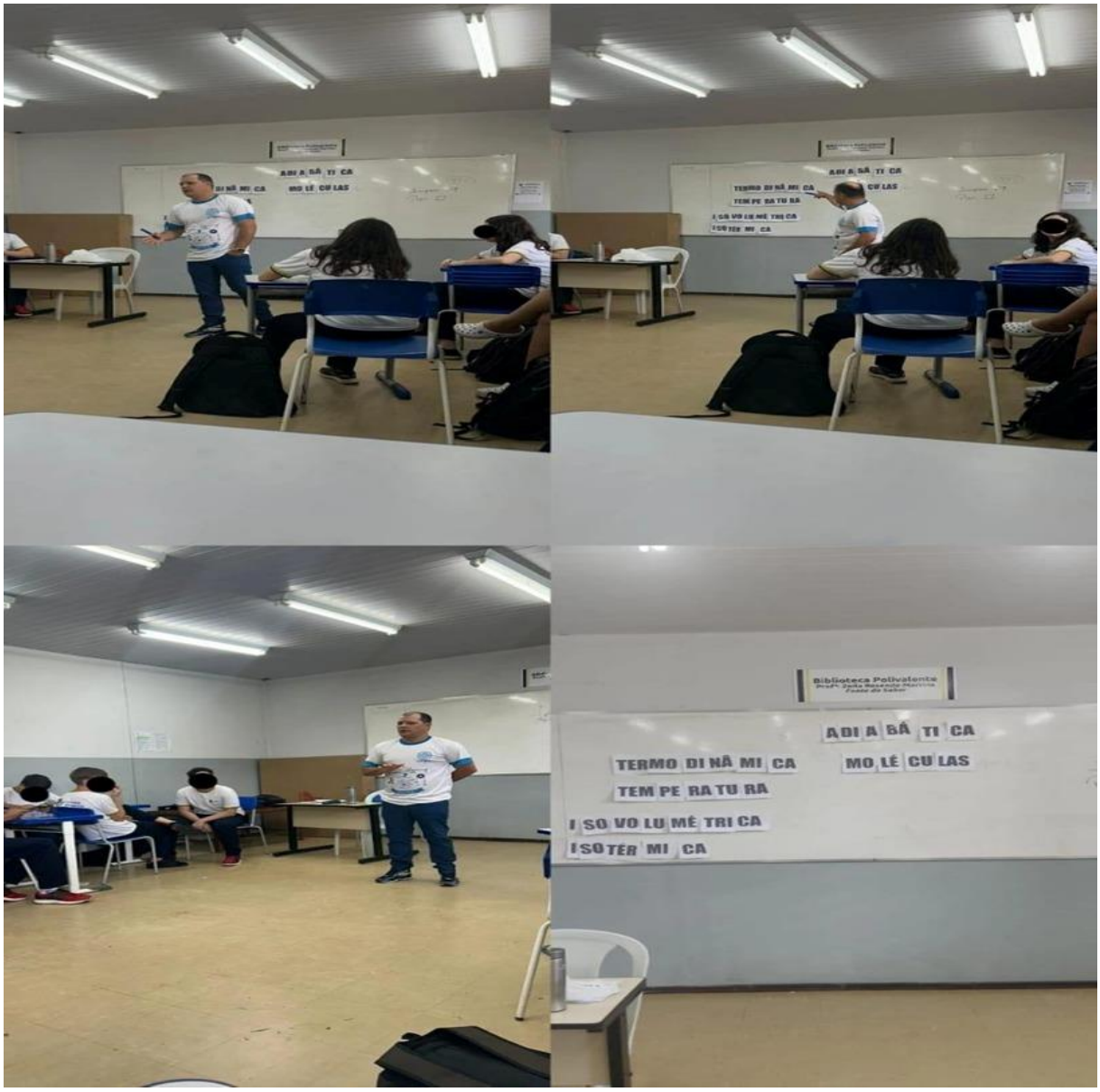
Figura 16- Dinâmica de Apresentação do tema

Acervo: Autoria própria, 2024

2º Momento – Cada palavra foi fixada no quadro e os estudantes foram questionados sobre elas:

- Conhecem essas palavras?
- Qual é o significado delas?
- Onde pode ser aplicado no nosso dia a dia?
- O que vocês sabem sobre essas palavras?
- Essas palavras são comuns no nosso cotidiano?

Figura 17- Explanação sobre as palavras chaves do tema



Acervo: Autoria própria, 2024

Ao final da dinâmica sobre termodinâmica, ficou evidente que os alunos se envolveram de maneira entusiástica e demonstraram grande interesse pelo tema. A participação foi marcada por um alto nível de euforia, com todos os participantes envolvidos nas atividades propostas. As discussões foram animadas e repletas de *insights*, refletindo a curiosidade e a dedicação dos alunos. Além disso, os *feedbacks* positivos recebidos reforçam que a dinâmica não só atingiu seus objetivos educacionais, mas também proporcionou uma experiência prazerosa e motivadora para todos os participantes. Sem dúvida, a abordagem interativa de introdução do tema gerou entusiasmo e curiosidade do grupo de alunos participantes, o que foi fundamental para que pudessem aprender nas aulas vindouras, os conceitos físicos abordados nas aulas, o que consolidou o sucesso da atividade.

Na aula dois da antecipação, nos dedicamos a aplicação de um Pré-teste, onde a sala foi organizada em filas e solicitado que os estudantes deixassem consigo somente o material que seria utilizado para a realização do mesmo.

Cada um dos alunos recebeu um Pré-teste impresso, com 10 questões, sendo nove subjetivas e uma objetiva, que abordavam a Termodinâmica em seu contexto cotidiano. (Apêndice A).

Durante o pré-teste, ficou claro que os alunos tiveram muitas dúvidas sobre o tema abordado. Embora as perguntas feitas sejam referentes a situações cotidianas, o conteúdo em questão ainda não havia sido estudado anteriormente pelos estudantes. Isso resultou em um certo grau de dificuldade e incertezas na hora de responder. As dúvidas foram recorrentes e abrangiam diversos aspectos do tema (Termodinâmica), implicando a necessidade de um estudo mais aprofundado e de uma introdução prévia ao conteúdo. Esse cenário destacou a importância de uma abordagem inicial mais detalhada, para preparar os alunos sobre os temas específicos do teste, e assim garantir um entendimento mais sólido.

6.2 Investimento

Durante as aulas 03 e 04, o foco foi o investimento, onde realizamos a introdução teórica do conteúdo. No 1º Momento apresentamos o Vídeo sobre “A escala do universo, desde o comprimento de Planck até o universo observável”: Link: https://htwins.net/scale2/ Sequencialmente, realizamos a explanação oral sobre o Átomo: tijolo da matéria, com o suporte da projeção de slides preparados especialmente para essa aula. Fechamos o momento dessa etapa dedicado ao encontro, assistimos o vídeo “Estado da Matéria” no link:https://youtube/MtI4nfn7Ra8.

Figura 18- Aula expositiva sobre átomos, molécula e matéria

Acervo: Autoria própria, 2024

Nas imagens acima, registramos momentos sobre as duas aulas dedicadas aos átomos, moléculas e matéria, os alunos apresentaram um alto nível de engajamento e participação ativa. As apresentações em slides serviram como uma ferramenta eficaz para ilustrar e explicar os conceitos, incentivando os estudantes a se envolverem nas discussões e atividades. A cada novo tópico apresentado, os alunos se mostraram curiosos e fizeram perguntas pertinentes, contribuindo com suas perspectivas e ajudando a criar um ambiente de aprendizagem colaborativo. As atividades propostas foram realizadas com entusiasmo, refletindo o interesse genuíno dos alunos pelo tema. A participação ativa de todos foi fundamental para o sucesso das aulas, promovendo uma compreensão mais profunda e integrada dos conceitos estudados.

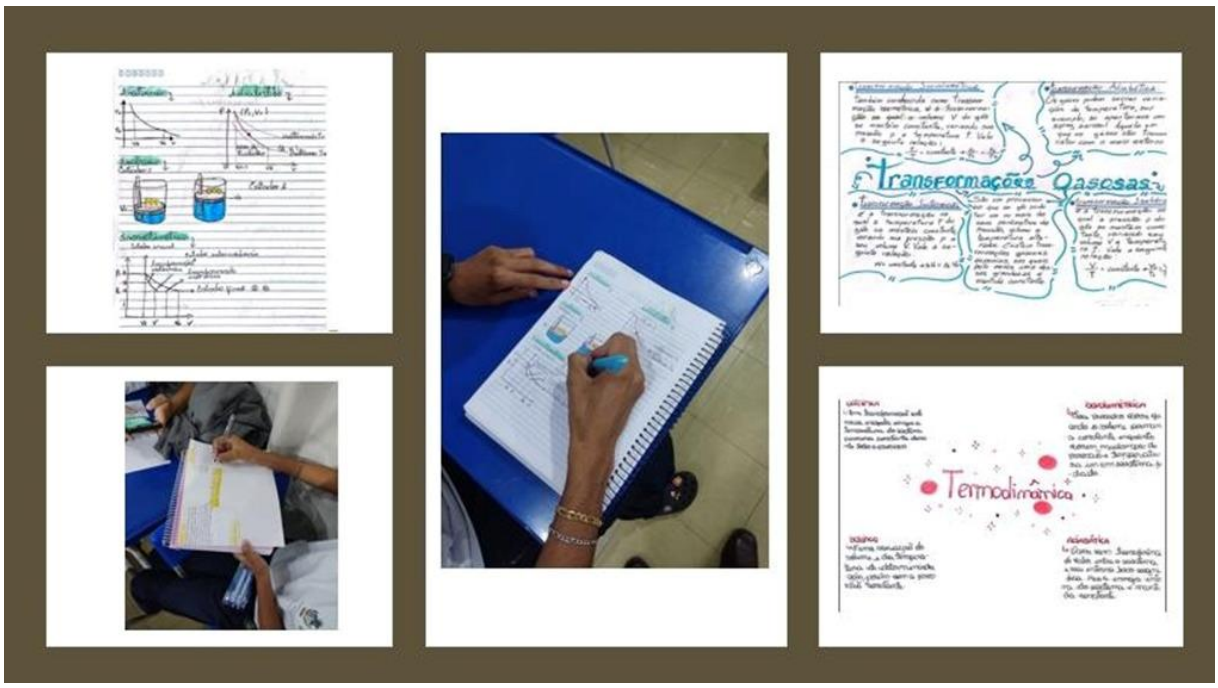
Ao final desta aula usei o método da sala de aula invertida, onde foi passado para os alunos uma pesquisa bem fundamentada sobre Leis da termodinâmica e transformações gasosas, que foram o ponta pé inicial da próxima etapa.

6.3 Encontro

Nas aulas 05 e 06, dando continuidade a fase do “encontro”, o primeiro momento o docente dividiu a turma de 2 em 2 para a que cada dupla construísse um mapa conceitual, embasado na pesquisa proposta como atividade na aula anterior (sala de aula de invertida),

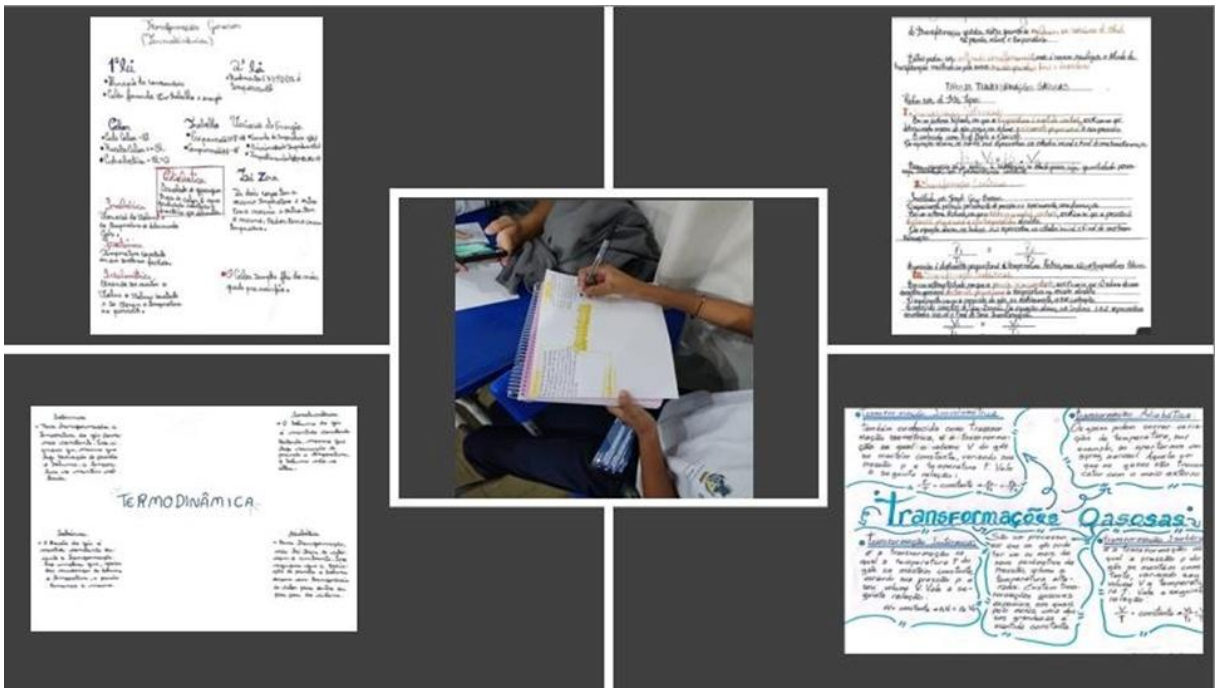
sobre os temas Transformações Gasosas e Leis da termodinâmica. E na sequência, finalizando esta metodologia invertida, o professor discorreu sobre os temas abordados.

Figura 19- Mapas conceituais elaborados pelos alunos



Acervo: Autoria própria, 2024

Figura 20- Mapas conceituais elaborados pelos alunos (2)



Acervo: Autoria própria, 2024

Durante as atividades sobre termodinâmica, a participação ativa dos estudantes foi notável. Na construção do mapa conceitual, os alunos colaboraram intensamente,

contribuindo com ideias e ajudando a organizar os conceitos de maneira clara e consistente. Essa atividade não apenas facilitou a compreensão das leis da termodinâmica, mas também incentivou o trabalho em equipe e o pensamento crítico. Cada estudante teve a oportunidade de compartilhar suas próprias perspectivas, enriquecendo as definições abordadas nos mapas conceituais.

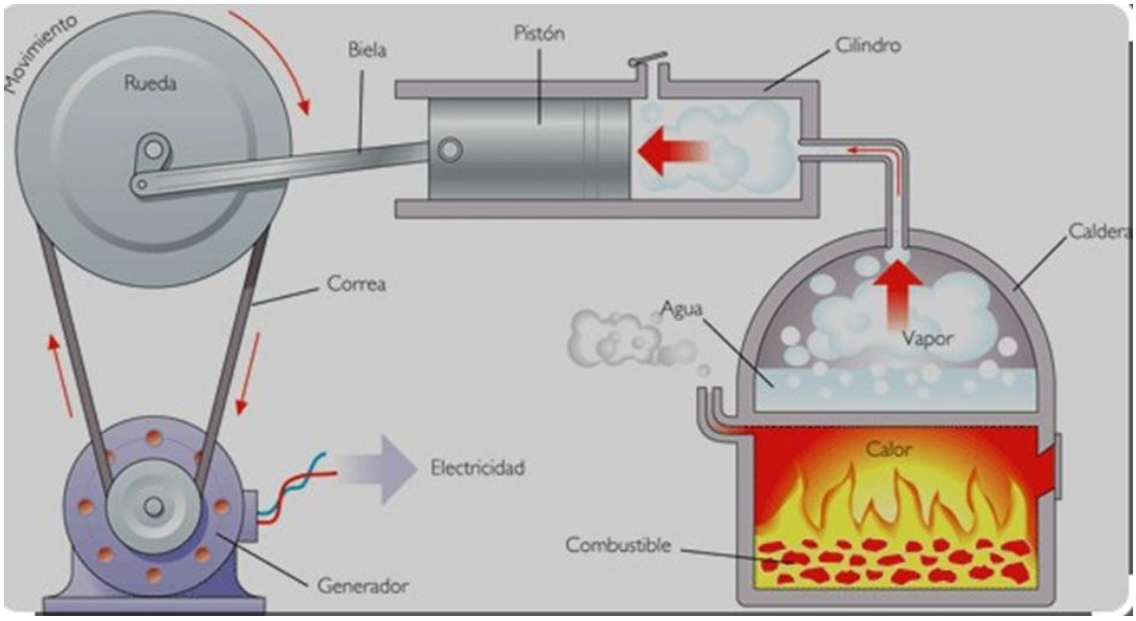
No segundo momento das aulas 05 e 06, trabalhamos *slides* sobre temperatura, pressão e volume: temperatura (descrição microscópica); pressão (descrição microscópica); volume e função de gás em máquina térmica.

Na aula 07 o tema gerador foi Máquinas Térmicas, onde introduzimos com o vídeo “Máquinas Térmicas e a Revolução Indrustrial”, no link https://www.youtube.com/watch?v=JAFUnXkergE . Aprofundando sobre o conteúdo do vídeo, discorremos sobre como as máquinas térmicas funcionam em ciclos que podem ser divididas em quatro processos principais:

1. Adição de calor
2. Expansão
3. Rejeição de calor
4. Compressão.

Para ilustrar a explicação, projetamos na smart TV, a imagem abaixo:

Figura 21- Modelo de um motor à vapor

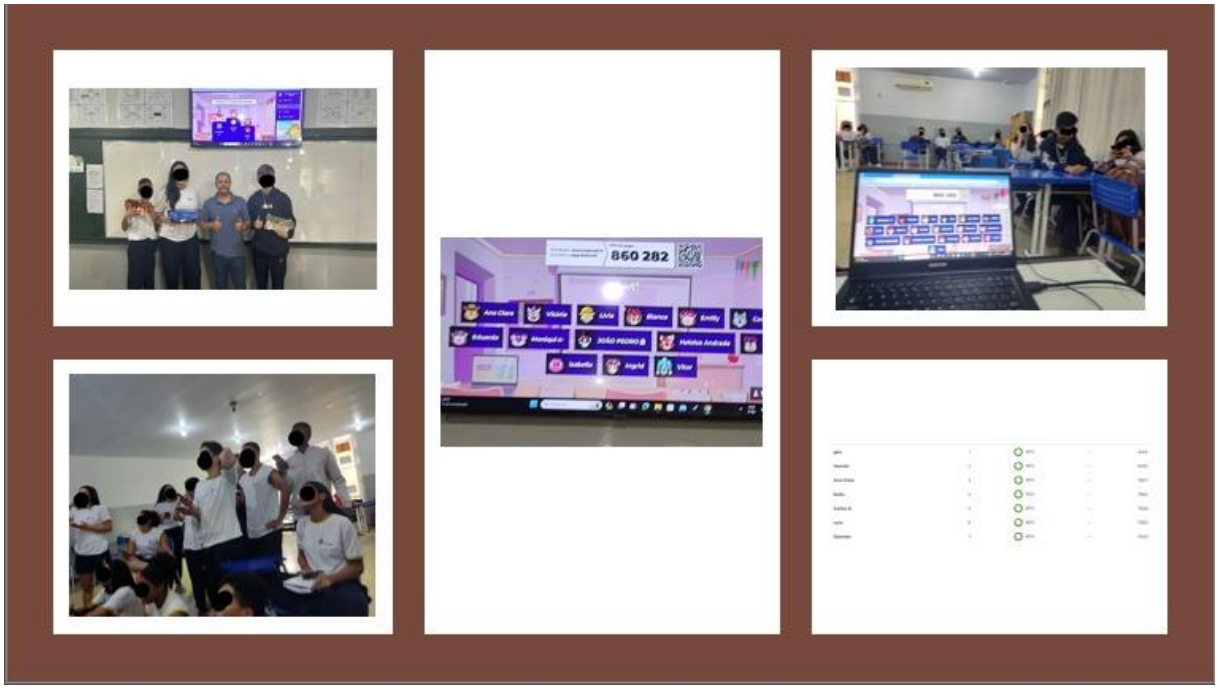


https://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/maquinastermicas.htm

Finalizando a aula 07, propusemos uma atividade de interação e fixação através de um quiz, no aplicativo on line, Kahoot!, disponibizado no link abaixo:

Quiz no Kahoot! sobre os assuntos abordados na aula – link https://create.kahoot.it/details/bfdba8db-c225-417b-a6ae-2403118d1558 .

Figura 22- Atividade Quiz Kahoot



Acervo: Autoria própria, 2024

A participação no jogo Kahoot foi marcada por paixão e competição saudável. Os alunos se envolveram de forma dinâmica, respondendo rapidamente às perguntas e demonstrando um bom entendimento dos conteúdos apresentados. O Kahoot proporcionou uma revisão divertida e interativa, reforçando o aprendizado de maneira lúdica. Os alunos se divertiram muito nesta ativadade e os três alunos que melhor pontuaram no quiz, foram premiados pelo professor, no final do momento. A combinação dessas atividades interativas foi crucial para consolidar o conhecimento sobre termodinâmica, tornando o processo de aprendizagem mais envolvente e eficaz.

Na aula 08, o tema gerador foi Gás Ideal e suas transformações: isotérmica, isovolumétrica, isobárica e adiabática e o estado de um gás descrito pela equação PV=nRT. Introduzindo o tema, os alunos foram conduzidos para o Laboratório de Física da unidade escolar, onde demonstratamos, na teoria e na prática, algumas trasformações dos gases, através de experimentos.

Figura 23- Atividades experimentais no laboratório de Física.

Acervo: Autoria própria, 2024

Neste momento, dedicamos um tempo para explicar a fórmula PV = n.R.T, conhecida como a equação de estado dos gases ideais ou a lei dos gases ideais. Esta fórmula é fundamental para compreender o comportamento dos gases sob diversas condições de temperatura, pressão e volume. Para começar, a fórmula e expliquei o significado de cada variável: P representa a pressão do gás, geralmente medida em atmosferas (atm) ou pascais (Pa); V é o volume do gás, que pode ser medido em litros (L) ou metros cúbicos (m^3); n é o número de mols de gás, que indica a quantidade de substância presente; R é a constante universal dos gases, que tem o valor aproximado de 0,0821 L·atm/(mol·K) ou 8,314 J/(mol·K), dependendo das unidades utilizadas e T é a temperatura absoluta do gás, medida em Kelvins (K).

Após apresentar a fórmula e os conceitos básicos, discuti a importância desta equação na descrição do comportamento dos gases e como ela pode ser aplicada em situações reais, como no funcionamento de motores a combustão e em processos industriais.

Para tornar a explicação mais clara e prática, resolvemos alguns exemplos na lousa. Fechando a aula 08, realizamos uma atividade escrita de fixação do conteúdo (Apêndice B).

6.4 Validação

Iniciando esta etapa da validação ou confirmação, com a aula 09. Depois que a parte teórica do tema foi explanada sobre termodinâmica, o foco do nosso trabalho é visualizar em simulação 3d (VPython) essas transformações na prática, onde podem ser analisadas as variáveis macroscópicas (pressão, volume e temperatura) através de uma observação microscópica.

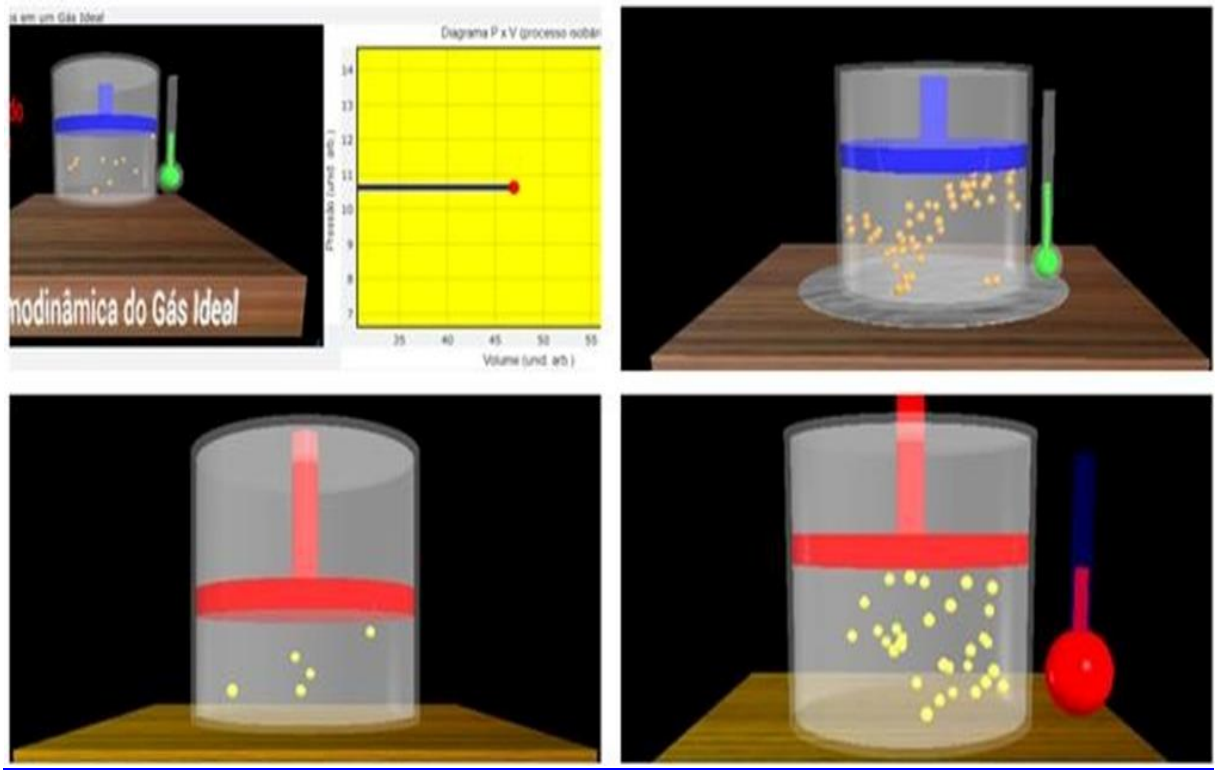
Utilizamos o Laboratório Móvel da Unidade Escolar – Chromebooks, onde os alunos se reuniram em duplas e/ou trios para fazerem o login no e-mail (kleuber.produtoeducacional@gmail.com) para acessar o VPython online no Glowscript. Após todos conseguirem logar com sucesso a plataforma, o professor regente apresentou a plataforma do gowscript.org e suas funcionalidades. Neste momento os alunos ficaram eufóricos, com tantas diversidades e possibilidades de programação, onde lhes foi permitido alguns minutos livres para navegarem e explorarem a plataforma. Sequencialmente, apresentamos aos alunos um guia prático que serviu de apoio para trabalharmos o código do VPython no Glowscript (on-line) para simular as transformações gasosas e entender os processos termodinâmicos de um gás ideal, confinado em um recipiente vedado por um pistão, ora fixo e ora móvel.

Nesse momento, apresentamos aos estudantes o código do ambiente que trabalharemos nas próximas aulas, com simulações. Logo em seguida em uma narrativa, expliquei sobre o código, como foi desenvolvido e o objetivo da sua criação, e os alunos foram, simultaneamente, manuseando as máquinas logados no glowscript.org.

Na figura 24, apresentada a seguir, são mostrados os registros da apresentação do ambiente VPython aos alunos, dentro do simulador.

Sequencialmente na figura 25, registros dos alunos sentados em dupla, logados no glowscript, dentro do ambiente VPython que os mesmos estavam conhecendo e explorando, seguindo a proposta da atividade.

Figura 24- Apresentação do ambiente Vpython



Acervo: Autoria própria, 2024

Figura 25- Aula de apresentação do simulador

Acervo: Autoria própria, 2024

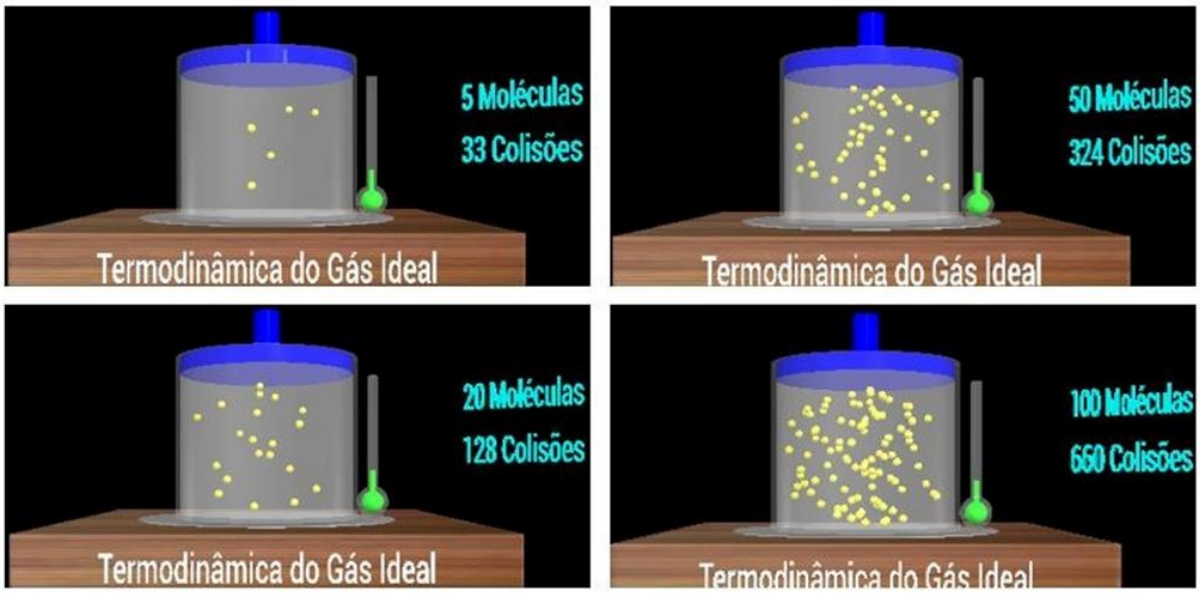
Nas aulas 10 e 11, com o uso dos chromebooks do Laboratório Móvel, usamos os códigos do ambiente VPython para trabalhar as grandezas fundamentais para o estudo e

entendimento dos gases ideais.

Seguindo o guia apresentado na aula anterior, os alunos realizaram o login na plataforma Glowscript, e usaram o código (Apêndice F - código 1), no ambiente VPython para trabalhar as simulações no ambiente. Neste momento fixamos a temperatura do nosso código através de comandos pré-estabelecidos para que a temperatura não sofra nenhuma alteração durante o processo, mas o volume e a pressão variarão inversamente proporcional.

Simulação 1:

Figura 26- Simulando o número de colisões.



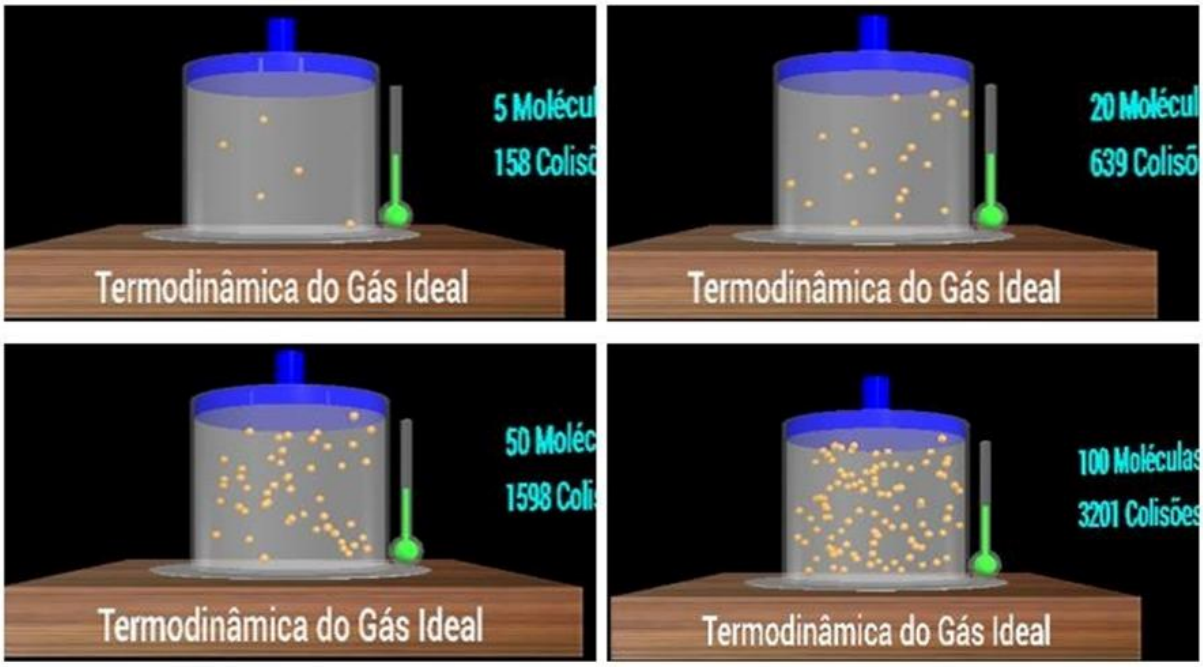
Acervo: Autoria própria, 2024

Nesta simulação, mantivemos o pistão fixo no nível máximo do recipiente e os alunos mudaram apenas o número de partículas que representam as moléculas de um gás ideal, que era pré- estabelecido pelo professor. A velocidade (1,0) (temperatura) das partículas é a mesma para todas as 4 simulações desta etapa. Neste processo o nosso código foi programado para contabilizar o número de colisões das partículas com as paredes do recipiente, após 20 segundos do início da simulação. Os estudantes foram orientados a anotarem esses números de colisões na planilha 1, da atividade anexa (Apêndice C).

Durante as simulações, os alunos puderam observar como as partículas de um gás se comportam confinadas dentro de um recipiente. As partículas colidiam com as paredes do recipiente, e essas colisões foram projetadas e quantificadas em termos de pressão exercida pelo gás. Logo, perceberam que a pressão exercida pelo gás, está diretamente relacionada com o número de colisões das moléculas com as paredes do recipiente.

Simulação 2:

Figura 27- Simulando colisões com alteração de temperatura

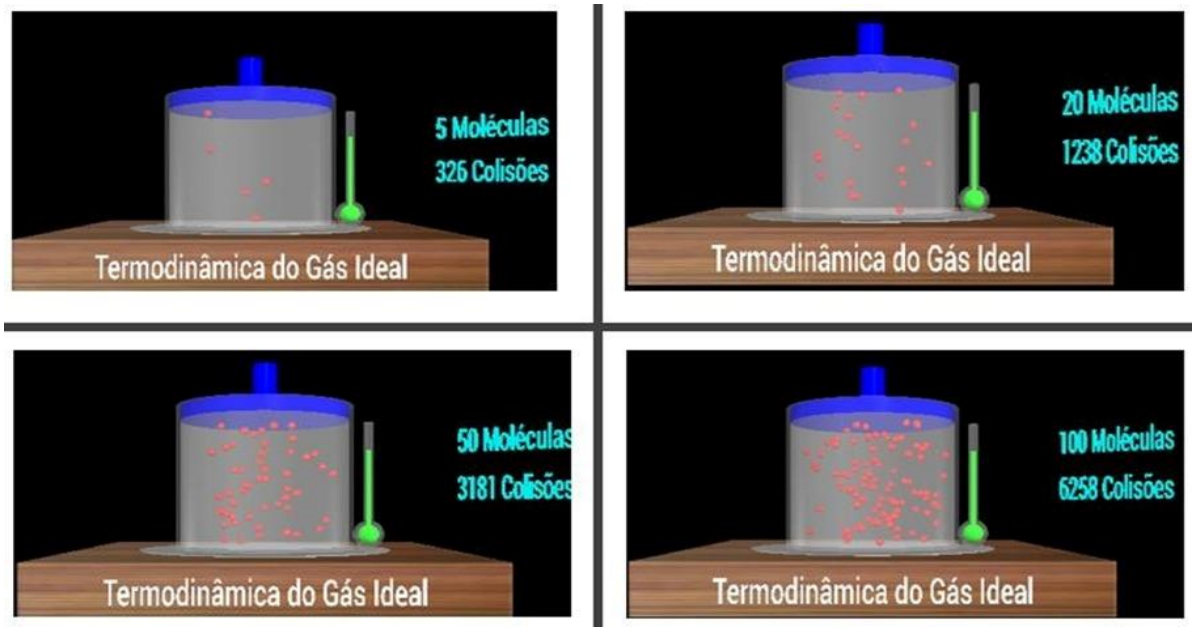


Acervo: Autoria própria, 2024

Nesta simulação os estudantes fizeram alterações no código, mudaram a velocidade das partículas (Temperatura) para o nível médio (5,0) e depois executaram o simulador com 5 moléculas, logo em seguida foi alterado somente o número de particulas dentre do recipiente, para 20, 50 e 100 molécuas, com o volume igual o anterior e a temperatura fixa. Logo em seguida registaram o número de colisões na planilha 2, da atividade mencionada. Lembrando que o pistão está fixado da altura máxima do recipiente igual na simulação anterior.

Simulação 3:

Figura 28- Simulando colisões com alteração de temperatura. (2)

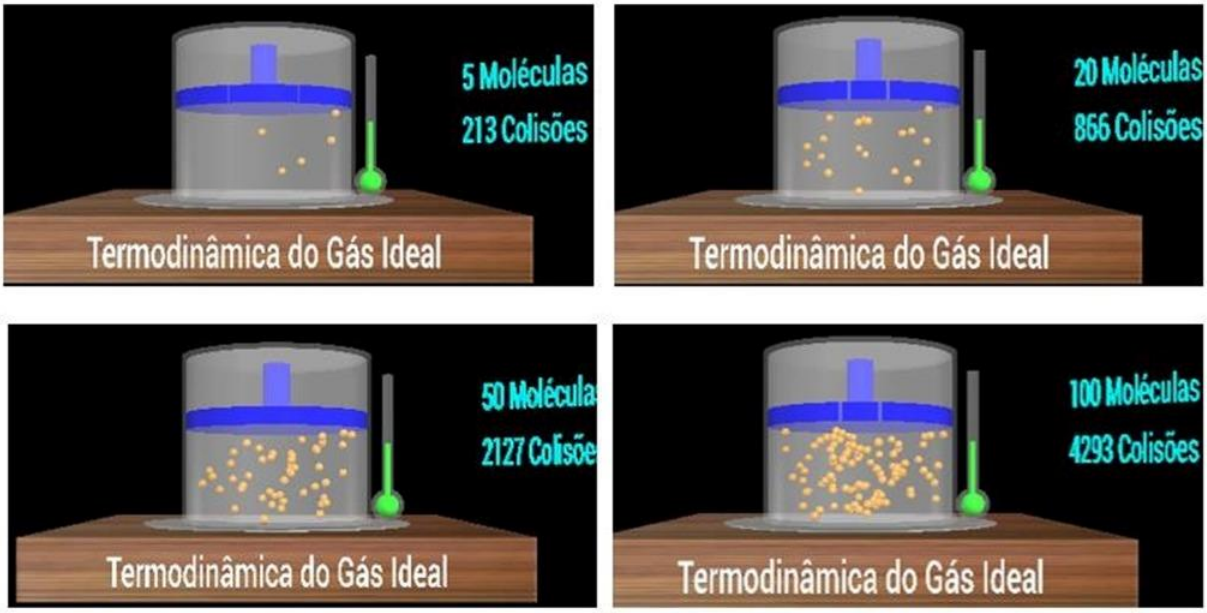


Acervo: Autoria própria, 2024

Nesta simulação (figura 28), os estudantes fizeram alterações no código, mudaram a velocidade das partículas para o nível máximo do simulador (10,0) (Temperatura) e depois executaram o simulador com 5 moléculas, depois com 20, 50 e 100 moléculas, com o volume igual o anterior e a temperatura fixa. Logo em seguida registaram o número de colisões na planilha 3 da atividade. Lembrando que o pistão está fixado da altura máxima do recipiente. Com a coleta dos dados nas planilhas 1, 2 e 3, conseguiram responder com precisão as questões 1; 1.1; 2; 3; 3,1; 3,2; 3,3; 3,4, da atividade anexo. (Apêndice C).

Simulação 4:

Figura 29- Simulando colisões com alteração no pistão.



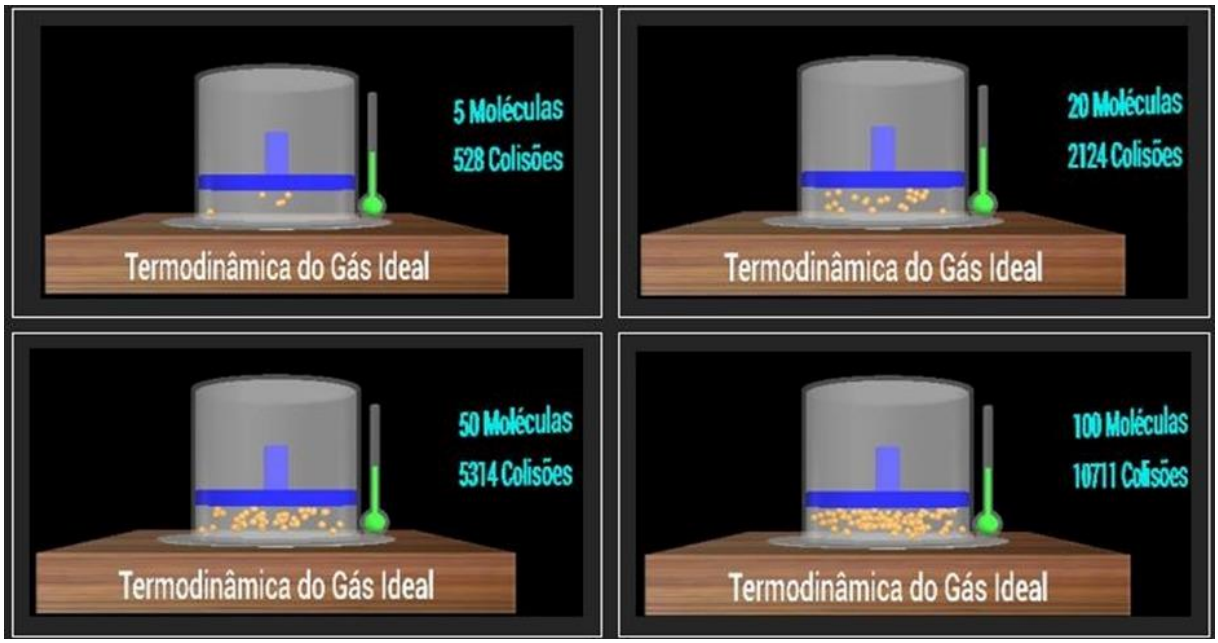
Acervo: Autoria própria, 2024

Na simulação 4 (figura 29), mantivemos a temperatura fixa no nível médio do simulador, semelhante a simulação 2, e foi pedido para os alunos registrarem na planilha 4, o número de colisões das moléculas com as paredes do ambiente onde o gás está confinado, durante um período de 20 segundos, com o pistão a uma altura fixa, mas agora na metade do recipiente. (Código: linha 22, altera o número de moléculas, linha 62, altera o volume do confinamento, npist 0.0 a 1.0 (0.5) linha 76 altera velocidade “Temperatura” n_vel 5).

Na questão 3.6, pede para comparar as planilhas 2 com a 4, onde a diferença de uma para a outra é o volume do ambiente onde o gás está confinado, na 2 o volume é máximo e na 4 é a metade. Logo os alunos chegaram a conclusão que o número de colisões para os respectivos número se moleculas eram muito maiores na planilha 4, que tinha a metade do volume da planilha 2 (Apêndice C). Peceberam que quando diminui o volume, aumenta a pressão do gás dentro do recipiente.

Simulação 5:

Figura 30- Simulando colisões com alteração no pistão (2).



Acervo: Autoria própria, 2024

Na simulação 5 (figura 30), mantivemos a temperatura fixa no nível médio do simulador, semelhante a simulação 2 e 4, e foi pedido para registrar na planilha 5, o número de colisões das moléculas com as paredes do ambiente onde o gás está confinado, durante um período de 20 segundos, com o pistão a uma altura fixa, mas agora, muito próximo da base do recipiente. (Código: linha 22, altera o número de moléculas, linha 62, altera o volume do confinamento, npist 0.0 a 1.0 (0.0) linha 76 altera velocidade “Temperatura” n_vel 5).

Quando os alunos finalizaram as simulações e completaram a atividade impressa, chegaram a conclusão óbvia, que, quando a temperatura se mantém constante, a pressão é inversamente proporcional ao volume.

Figura 31- Aula utilizando o simulador.

Acervo: Autoria própria, 2024

Nas aulas 12 e 13, finalizamos a etapa da Validação. Nestas aulas usamos o código (Apêndice D), no ambiente VPython no glowscript para trabalhar as transformações isovolumétricas. Neste momento despresaremos o volume do nosso código através de comandos pré-estabelecidos, para que ele não sofra nenhuma alteração durante o processo, mas a temperatura e a pressão variaram proporcionalmente.

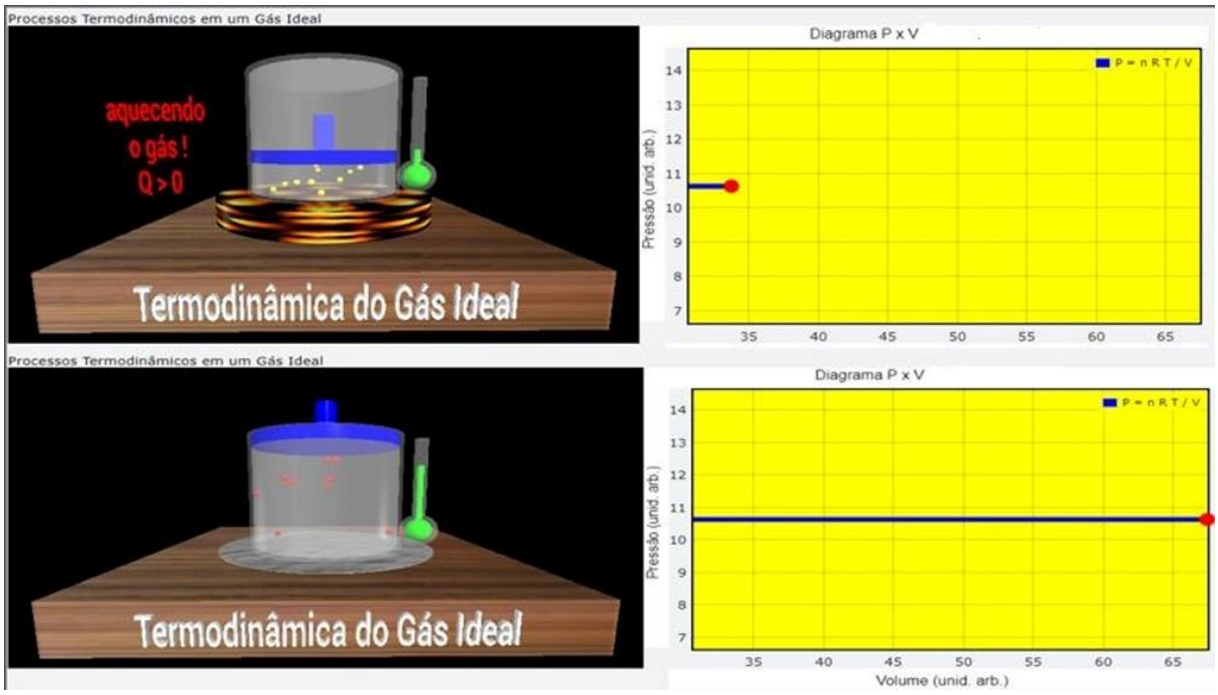
Seguindo o guia já anteriormente proposto, trabalhamos o código do VPython no Glowscript (on-line) para simular as transformações gasosas e entender os processos de expansão e compressão de um gás confinado em um cilindro preso por um pistão, ora fixo, ora móvel.

Para simular as transformações isobárica, isotérmica ou isovolumétrica é só seguir o guia: na linha 65 do código e alterar o npt = para 1, 2 ou 3. Para acionar os movimentos de expansão e compressão do simulador é só seguir as orientações na linha 68, nsi = 0 ou 1.

Na simulação 6 (abaixo), o pistão do recipiente pode se movimentar livremente, logo, se aumentarmos ou diminuirmos a temperatura (velocidade das moléculas) o volume pode também aumentar e/ou diminuir, não alterando em nada a pressão dentro do recipiente.

Simulação 6 (Expansão do Gás):

Figura 32- Simulação de transformação isobárica.



Acervo: Autoria própria, 2024

Durante a simulação, os alunos logo perceberam que se tratava de uma transformação isobárica, onde a pressão é mantida constante, lembraram das aulas teoricas. Quando questionados porque seria uma transformação isobárica, eles identificaram vários fatores visuais que confirmaria essa hipótese. Aqui estão alguns dos principais aspectos que eles relataram observar:

Volume Variável: em uma transformação isobárica, a pressão permanece constante enquanto o volume e a temperatura variam. Os alunos visualizar a expansão do volume do gás no recipiente enquanto a pressão é mantida constante.

Movimento e mudança de cor das Partículas: durante a simulação as partículas do gás moviam cada vez mais rápidas (aumentando a temperatura) enquanto o volume do recipiente muda para manter a pressão constante. Esse movimento das partículas pode ser visualizado em termos de velocidade e espaçamento entre elas. Relataram também, que as partículas mudavam de cor, da cor amarela para vermelhas durante o processo.

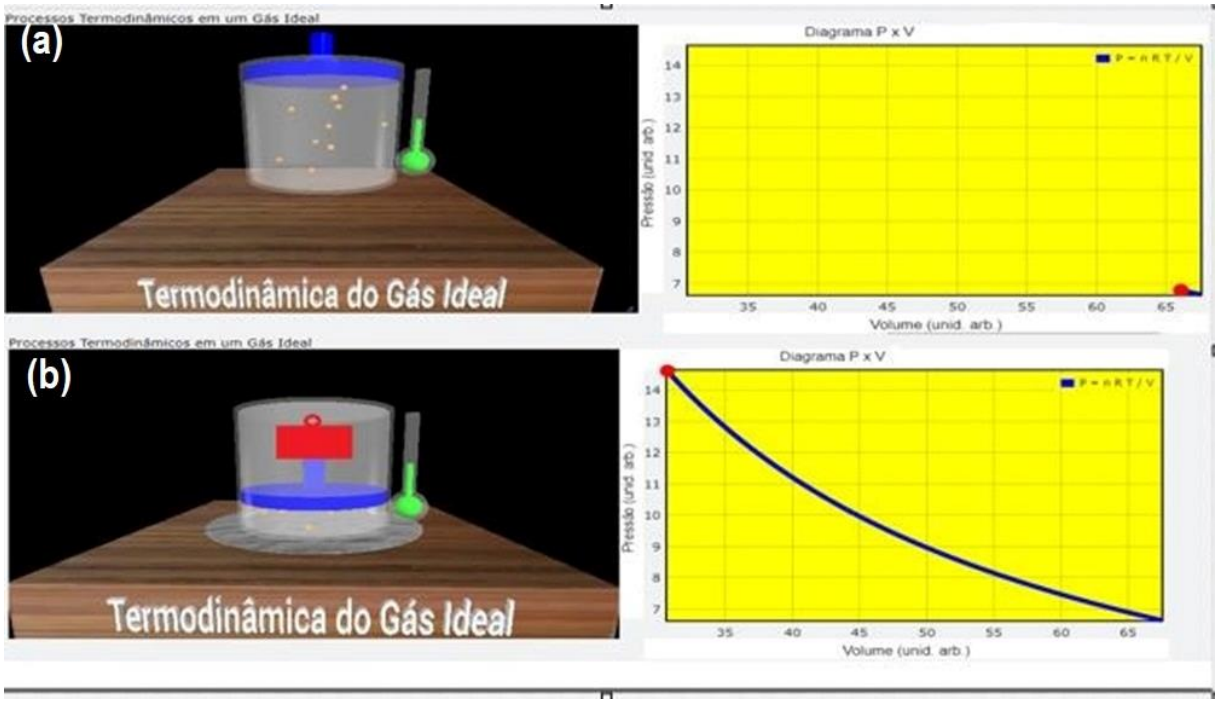
Frequência Constante de Colisões: mesmo que o volume do recipiente esteja mudando, a frequência das colisões das partículas com as paredes do recipiente deve se ajustar de maneira a manter a pressão constante. Os alunos observaram que, apesar da mudança no volume, a pressão (representada pelo número de colisões por unidade de área por unidade de tempo) permanece inalterada.

Indicadores Gráficos: relataram que os indicadores de pressão no gráfico (PV) ao lado, a grandeza relacionada a pressão permaneceu inalterada durante a simulação, isso foi representado por uma linha horizontal no gráfico de pressão versus volume.

Termômetro ou Indicador de Temperatura: essa ferramenta foi de grande valia para a pecepção dos estudantes, perceberam que o termômetro ao lado da simulação alterava e com isso as moléculas aumentavam suas velocidades. Visualmente o termômetro ajudou muito nas simulações.

Simulação 7 (Compressão do Gás):

Figura 33- Simulação de transformação isotérmica.



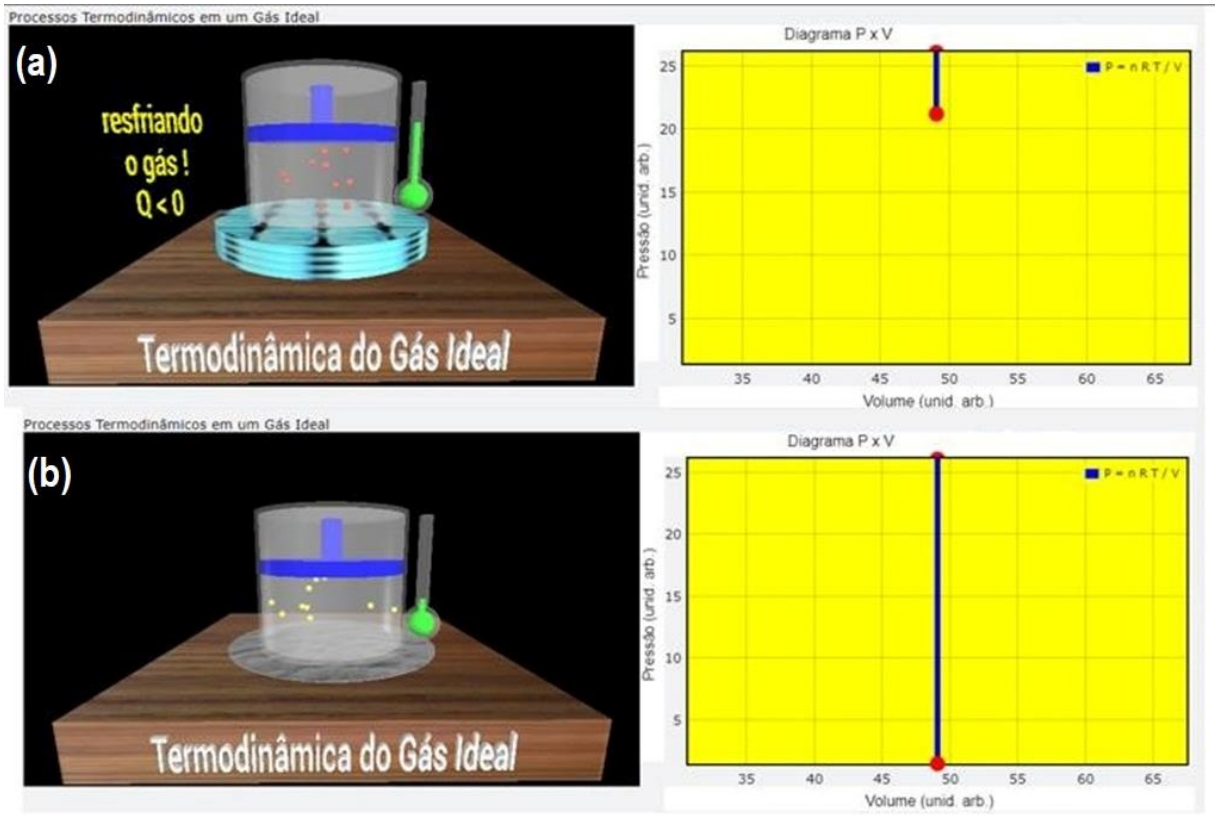
Acervo: Autoria própria, 2024

No mesmo código, agora denominado de PE1.py alternamos na linha 65 npt = 2 e na linha 68 nsi = 0, onde agora o pistão está em um processo de compressão devido um peso que o empurra para baixo.

Essa simulação 7, do VPython, viabilizou um maior entendimeno dos alunos sobre uma transformação isotérmica, onde não tem alteração na temperatura, isso pode ser observado de várias maneiras, visto ser uma Visualização Dinâmica. Na figura (a) o pistão está no limite superior do recipiente, pressão, volume e temperatura permanecem estável. Já na figura (b), é adicionado um peso sobre o pistão fazendo com que o volume diminua e consequentemente aumentando a pressão, mas a temperatura se manteve sem sofrer nenhuma variação.

Simulação 8:

Figura 34- Simulação de transformação isovolumétrica.



Acervo: Autoria própria, 2024

Nesta simulação, que representa uma transformação isovolumétrica (ou isocórica) no VPython, alguns pontos visuais podem ser destacados para ajudar os alunos a entenderem o processo em que o volume do gás permanece constante. Lembrando que o pistão está fixo a uma determinada altura. Na figura (a) a temperatura está um pouco elevada, podendo ser percebida através do termômetro e pela cor das partículas. Na figura (b) os alunos perceberam que, com o passar do tempo as moléculas estavam diminuindo suas velocidades (energia cinética do gás)e mudando suas cores. Alteração foi também notada no termômetro, onde a temperatura diminuiu.

Observaram e relataram que no gráfico P x V (vide figura da simulação 8), o volume se mantinha constante durante toda a simulação, mas a pressão estava diminuindo.

As simulações 6, 7 e 8 deram base para que os alunos pudessem responder com exatidão, a atividade escrita proposta (Apêndice D).

Figura 35- Realização de atividade com o simulador.

Acervo: Autoria própria, 2024

6.5 Revisão Construtiva

O pós-teste é uma ferramenta essencial no processo de ensino-aprendizagem. Ele fornece *insights* valiosos sobre a eficácia do ensino e aprendizagem dos alunos, além de servir como um guia para futuras instruções e intervenções educativas.

Visto isso, a aula 14 foi dedicada a esse momento, da aplicação do pós-teste (Apêndice E), fechando assim todas as etapas propostas por Kelly.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

George Alexander Kelly e sua teoria dos Construtos Pessoais (1963) serviram como a base teórica para este estudo e foram complementados pelos princípios de aprendizagem significativa de Ausubel (2003). A sequência didática proposta seguiu as cinco fases do Ciclo de Experiência Kellyana (CEK), enfatizando a importância da experiência ativa no processo de aprendizagem.

Na etapa 1 da antecipação, durante as primeiras aulas, utilizou-se uma dinâmica para introduzir o tema. Baseado em Kelly (1963), enfatizou-se a importância da antecipação como um momento de previsão dos eventos. As atividades iniciais estimularam os alunos a formularem hipóteses sobre termodinâmica e suas aplicações cotidianas, alinhando-se à ideia de construir réplicas dos processos observados (Alves, 2008).

A execução do pré-teste revelou que, embora as questões lidassem com situações cotidianas, o conteúdo específico não era familiar para os alunos, o que sublinha a exigência de uma introdução mais detalhada ao tema antecipadamente.

Na Etapa 2, do investimento, foi realizado os estudos sobre os átomos, moléculas e matéria visou construir uma base sólida de conhecimento. Com uma abordagem teórica e recursos visuais, como vídeos e slides, os alunos puderam “investir” em novas informações, conforme sugerido por Oliveira (2021). A participação ativa dos estudantes, corroborada pela execução de pesquisas sobre leis da termodinâmica, evidenciou um engajamento significativo, mostrando que a interação ativa com o conteúdo transforma tanto o aluno quanto sua compreensão dos eventos educacionais (Oliveira, 2021).

Na Etapa 3, do encontro, os alunos desenvolveram mapas conceituais e participaram de conceitos teóricos mais específicos sobre a termodinâmica, proporcionando um 'encontro' substantivo com o conteúdo. A construção dos mapas conceituais, apoiada por Santos, Oliveira e Saad (2021), evidenciou que os alunos atuam como “cientistas humanos”, testando e refinando suas hipóteses iniciais. A atividade prática como o jogo Kahoot! foi essencial para consolidar o aprendizado de forma lúdica, alinhando-se aos estudos de Rocha *et al*. (2020), que destacam a abstração e as regularidades estabelecidas durante o engajamento em eventos únicos.

Na etapa 4, denominada validação envolveu a aplicação de simulações em 3D usando o VPython, onde os alunos puderam observar e manipular variáveis em transformações isotérmicas, isovolumétricas e isobáricas. As simulações permitiram aos estudantes verem as transformações gasosas em ação, proporcionando um feedback imediato sobre a validade de suas hipóteses, assim como ocorre no processo científico (Batista; Sousa; Silva, 2023). A capacidade de manipular variáveis e visualizar as

mudanças dinamicamente facilitou a compreensão e a retenção dos conceitos, corroborando com a visão de Ausubel sobre o uso de organizadores prévios e a aprendizagem significativa (Moreira, 2001).

Na etapa 5, da Revisão Construtiva culminou na aplicação de um pós-teste e a revisão do conteúdo à luz das experiências vividas. A correlação entre as hipóteses iniciais e os resultados experimentais demonstrou uma evolução significativa no sistema de construtos dos alunos, atendendo à ideia de Kelly (1963) de que a experiência é resultado de uma contínua interpretação e reinterpretação dos eventos.

Considerando o pós-teste, os alunos demonstraram uma compreensão mais consolidada dos conceitos abordados, evidenciando que as etapas do CEK foram efetivas em promover uma aprendizagem significativa. As dúvidas iniciais foram esclarecidas e os conceitos assimilados, conforme propunha Ausubel (1980) em sua teoria da aprendizagem significativa (Moreira, 2015).

A teoria dos Construtos Pessoais de Kelly (1963) e os princípios de aprendizagem de Ausubel (2003) forneceram a base para uma sequência didática que, através de cinco fases do CEK enfatizou a experiência ativa no aprendizado, culminando na aplicação de conceitos termodinâmicos fundamentais, reforçada por simulações e atividades práticas.

A lei zero, como explicada por Silva (2020) e Santos (2023), estabelece a base para a termometria e o entendimento do equilíbrio térmico. No contexto educacional, a aplicação dessa lei foi abordada com atividades de diagnóstico que identificaram o conhecimento prévio dos alunos sobre temperatura e calor. A escolha de métodos interativos e diagnóstico inicial permitiu identificar que, mesmo conceitos aparentemente simples, como o equilíbrio térmico, careciam de uma compreensão mais profunda nos estudantes.

A primeira lei da termodinâmica, descrita por Fontes (2021) e Santos Filho (2020), enfatiza a conservação da energia. A aplicação educacional incluiu quiz e simulações que permitiram aos alunos visualizarem como a energia interna de um sistema é alterada por calor e trabalho. Atividades práticas, como as transformações isotérmicas e adiabáticas simuladas com o VPython, demonstraram ser eficazes. Os alunos conseguiram visualizar a aplicação de $\Delta U = Q - W$ em tempo real, reforçando a relação entre teoria e prática.

A segunda lei, foi abordada por meio de imagens e mapas conceituais. Esta lei afirma que a energia interna de um sistema isolado tende a aumentar (Fontes, 2021; Moura, 2017). Mais especificamente, ela indica que, em processos naturais, a desordem (ou entropia) de um sistema isolado sempre tende a crescer com o tempo. Isso significa que a energia disponível para realizar trabalho útil diminui, sendo inevitável a dissipação de parte dessa

energia em forma de calor. Os alunos participaram ativamente no Kahoot!, onde puderam revisitar e solidificar esses conceitos de maneira lúdica e competitiva.

Nas aulas que envolveram simulações isotérmicas, isovolumétricas e isobáricas, os alunos puderam experimentar a manipulação de variáveis como pressão, volume e temperatura e observar seus efeitos práticos. Esse engajamento visual e prático não só reforçou a compreensão teórica, mas também incentivou habilidades computacionais e de modelagem.

Portanto, ressalta-se que o estudo das transformações gasosas, do ciclo termodinâmico, do ciclo de Carnot e dos gases ideais é essencial para compreender a eficiência e o funcionamento de diversos sistemas físicos, especialmente máquinas térmicas. Essas noções foram abordadas de maneira teórica e prática, conforme delineado no produto educacional implementado e correlacionado com a base teórica.

As transformações gasosas são processos essenciais no estudo da termodinâmica e descrevem como a pressão, o volume e a temperatura de um gás mudam. Como Melo (2018) e Prants (2020) detalham, as quatro transformações gasosas principais (isobárica, isotérmica, isovolumétrica e adiabática) são fundamentadas nas equações de estado como a equação de Clapeyron e na primeira lei da termodinâmica. Ao aplicar esses conceitos no ambiente educacional por meio do produto educacional mencionado, observa-se a eficácia de um método de ensino prático.

O conceito de gás ideal é essencial para simplificar o estudo de transformações gasosas complexas. Os experimentos e simulações realizadas com os alunos, mostraram-se eficazes para demonstrar os princípios da equação dos gases ideais. Vários exemplos, como os cálculos de pressão e volume para diferentes condições (exemplos 1 e 2 no produto educacional), proporcionaram uma base prática para a compreensão teórica discutida por Helerbrock (2019) e Fowler (2018).

O ciclo de Carnot, mencionado por Costa (2013) e Dullius (2019), define a eficiência máxima teórica para qualquer motor térmico. Assim, a eficiência das máquinas térmicas foi explorada por meio de mapas conceituais, que consolidaram os conhecimentos teóricos apresentados.

A aplicação prática de conceitos por meio de simulações no ambiente VPython, conforme descrito, contribuiu significativamente para a compreensão das variáveis de estado e das diferentes transformações gasosas. Os alunos puderam observar os efeitos de mudanças nas grandezas físicas de modo interativo, algo que Halliday, Resnick e Walker (2016) defendem como essencial para a compreensão profunda dos conceitos termodinâmicos.

A atividade prática permitiu a experimentação de ciclos termodinâmicos em um ambiente controlado, proveniente de um código ajustável no VPython. Este método de ensino não somente reforça a teoria expressa por autores como Cengel e Cimbala (2015) sobre a importância das simulações, mas também a integração da tecnologia no ensino, conforme motivada por Moreira e Couto (2019).

O produto educacional proporcionou um meio para os alunos aplicarem conceitos teóricos de forma tangível. Como exposto, os alunos conseguiram visualizar fenômenos complexos de maneira simplificada, conforme indicado pelo *feedback* positivo nas atividades práticas e no pós-teste.

As simulações em VPython permitiram a observação direta das transformações gasosas, com a visualização de variáveis como pressão, volume e temperatura em tempo real. Este tipo de aprendizagem ativa promoveu uma maior retenção dos conceitos, confirmando a teoria de Schulz (2009) sobre a eficácia do aprendizado baseado em experimentos.

Perante os resultados e discussões apresentados acima, pode-se afirmar que desde a antecipação e investimento inicial até o encontro, validação e revisão construtiva, a sequência didática implementada proporcionou uma experiência de aprendizado ativa e envolvente. A execução de pré e pós-testes reforçou a importância de introduções detalhadas e a correlação entre teoria e prática. Atividades práticas, como o uso de simulações em VPython e jogos interativos, facilitaram a visualização de fenômenos termodinâmicos complexos de maneira tangível, o que promoveu uma compreensão mais profunda dos conceitos abordados. O enfoque prático e interativo não apenas impulsionou as habilidades computacionais dos alunos, como também engajou e solidificou seus conhecimentos teóricos, evidenciando a relevância da tecnologia educacional no campo da termodinâmica.

7.1 Aplicação do pré-teste

Para iniciar a estapas do Ciclo de Experiência de Kelly, o Pré-teste (Apêndice A) foi elaborado objetivando diagnosticar os conhecimentos prévios dos educandos sobre o tema.

Assim, as questões foram elaboradas nesta perspectiva:

A questão 1, subjetiva, indagou os alunos sobre como definiria temperatura, e a dica da questão foi que eles se lembrassem do termômetro. A esta indagação os alunos demonstraram que tinham, em alguns casos, a noção básica e incompleta da definição, e em outros casos, nenhuma noção plausível da mesma.

Na segunda questão, a indagação, também subjetiva, perguntava sobre a definição do que seria pressão e quais seriam exemplos de situações cotidianas ligadas a essa grandeza. A esta questão, o indíce de acertos foi baixo, e a na maior parte com definições superficiais e incompletas, não foram associadas a temperatura e volume. A maioria dos exemplos estavam relacionados a panela de pressão, a pressão arterial e o gás de um refrigerante.

Na terceira questão, subjetiva, a definição solicitada era a de Calor e uma segunda indagação, sobre a correlação desta grandeza com forno e geladeira, por exemplo. A esta questão as respostas foram inclonclusivas e sem fundamentação, mas concluiram que o calor estava relacionado a temperatura.

A quarta questão do teste, subjetiva, perguntava sobre se temperatura e calor são sinônimos, na concepção dos alunos. A maioria disse que não são sinônimos, mas não souberam explicar qual seria a diferença entre eles.

Já na quinta questão, subjetiva, a pergunta foi voltada para o significado de volume para o aluno, e a dica foi que os mesmos se lembrassem de uma vasilha (recipiente) ou sua mochila escolar. Mesmo com as dicas, a maioria não soube expressar o significado de volume e quase sempre se restringiram a que um volume seria o que ocupa um espaço ou um ambiente. Visto isso, ficou claro o desconhecimento do tema, dentro da Termodinâmica.

Na sexta questão, subjetiva, apresentamos uma questão prática, sobre um sorvete, e sobre seu estado após um tempo fora da refrigeração. A maoria respondeu corretamente que o sorvete descongelaria. Na segunda parte da questão, se questionou sobre o porquê desse descongelamento, e a essa pergunta a maioria também conseguiu responder a contento, alegando que o sorvete aumentaria de temperatura devido ao contato com o ambiente e a troca de calor. Consideramos a resposta a contento do esperado.

A sétima questão, subjetiva, foi dividida em a, b e c e apresentou uma situação, relatando que o dono de um carro havia colocado ar os pneus de seu veículo. Na indagação a, o que acontece durante o enchimento, na indagação b se interroga sobre se é adequado se andar com os pneus murchos ou muito cheios e na indagação c, perguntamos se os alunos saberia elencar as grandezas associadas. Ao questioamento a, os alunos demonstraram que compreendiam que o pneu ficou mais cheio após o enchimento com ar mas não conseguiram associar isso a pressão; na pergunta b os alunos, em sua maioria, relacionaram a falta adequada de calibragem dos pneus a um mal funcionamento do veículo e a na indagação c, a minoria conseguiu associar as grandezas de volume e pressão ao fato apresentado.

A oitava questão refere-se à duas garrafas térmicas, uma com água quente e uma com água fria e indagou, de forma objetiva, que se avaliassem as afirmações apresentadas sobre temperatura e calor. O índice de acerto desta questão objetiva, foi de próximo da metade, mas não souberam justificar suas respostas.

Na nona questão, subjetiva, se perguntou sobre a que viria a ser um gás e a dica foi que os alunos se lembrassem do gás de cozinha. A esta questão, a maoria relacionou o gás a uma espécie de ar e não conseguiu relacionar a definição correta do mesmo.

Na décima questão, subjetiva, se interrogou sobre o que seria a composição de um gás e qual a sua semelhança com uma água em fervura e um pedaço de madeira. A maioria não conseguiu definir corretamente o que é um gás e sua constituição, mas souberam diferenciá-lo de um pedaço de madeira e associá-lo ao vapor da fervura da água.

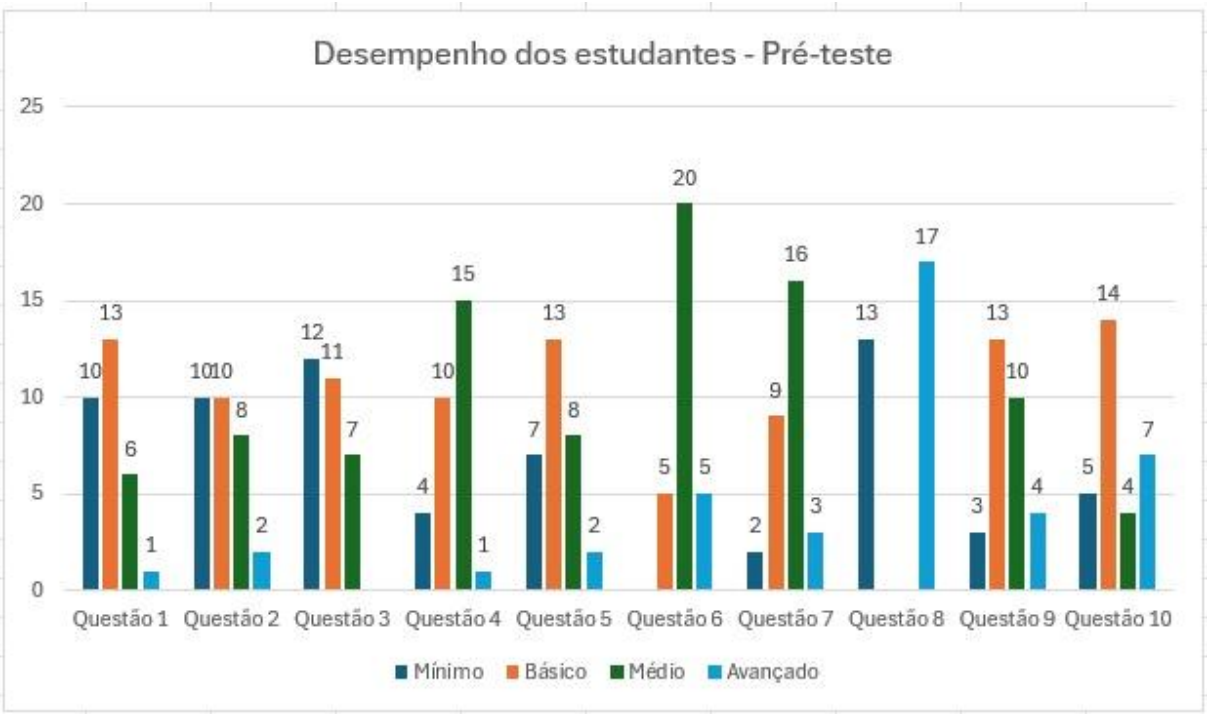
Na aplicação do Pré-teste, como já mencionado, ficou claro que os alunos ainda não tinham domínio do conteúdo e quão relevente seria a abordagem do mesmo para seus enriquecimentos de conhecimentos físicos e aprendizagem para a vida e para prosseguir seus estudos, por exemplo, com sucesso na realização da prova de Ciências da Natureza do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

Abaixo, apresentamos um gráfico onde se registrou com exatidão o nível de respostas objetivas no pré-teste, onde classificamos as respostas registradas pelos alunos - que em sua maioria foram subjetivas -, em conhecimento mínimo, básico, médio ou avançado, sobre cada uma das indagações. A análise das respostas e sua expressão em gráfico, fundamentaram os principais pontos de foco a serem abordados e frisados durante a explanação do conteúdo, levando em conta seus conhecimentos pré-existentes e o nível de conhecimento que gostaríamos de atingir após completar todo o Ciclo de Experiência proposto por Kelly.

Nos gráficos apresentados abaixo, que registram o Desempenho dos estudantes no Pré-teste e no Pós-teste (figuras 36 e 37, repectivamente), os estudantes foram classificados por níveis de conhecimentos, assim sendo:

- Mínimo: o aluno não tinha nenhum ou quase nenhum conhecimento sobre o tema;
- Básico: o aluno possuía um conhecimento superficial sobre o tema;
- Médio: o aluno possuía um conhecimento sobre o tema, mas não conseguia discernir sua aplicabilidade;
- Avançado: o aluno possuía conhecimento sobre o tema e conseguia discernir pelo menos parcialmente, a aplicabilidade do mesmo.

Figura 36- Gráfico do desempenho dos estudantes no pré-teste



Acervo: Autoria própria, 2024

7.2 Aplicação do pós-teste

Como última etapa do Ciclo de Experiência de Kelly, aplicamos o Pós-teste, para obtermos dados concretos após todo o trabalho com o conteúdo, as conceituações, as aplicabilidades, a teoria, a prática experimental e a utilização do simulador virtual VPython. Ressaltamos que todas as questões foram de caráter subjetivo, neste Pós-teste.

Na primeira questão, apresentamos uma imagem do simulador VPython em três etapas, onde gradativamente se aumentava o número de moléculas e proporcionalmente o aumento de colisões. A isso, perguntamos o que acontece quando aumentamos o número de moléculas e a qual grandeza isto está associado. As respostas foram extremamente satisfatórias, com a maioria absoluta de acertos.

Na segunda questão, o questionamento foi sobre o que acontece com um gás confinado em um recipiente fechado quando sofre uma expansão isotérmica. As respostas foram, na maior parte, corretas e demonstraram conhecimento dos alunos, sobre essa transformação.

A terceira questão, fala sobre as simulações que realizamos no Glowscript, sobre um gás confinado. As indagações eram quais as variáveis que este gás estaria sujeito, nesta situação. As respostas dos alunos foram satisfatórias, mesmo, por vezes, não expressando corretamente as unidades físicas, sabiam suas funções e as reações sobre o gás confinado.

Na quarta questão, nos referimos ainda sobre as simulações realizadas no Glowscript, onde apresentamos uma imagem ilustrativa sobre uma transformação gasosa, que neste caso seria isotérmica. Neste caso, todos os alunos acertaram a que tipo de transformação se referia a simulação e a maioria acertou ainda a que grandeza física isso estaria associada.

Na quinta questão, a pergunta é sobre uma máquina térmica e sua eficiência em relação ao trabalho realizado. A isto, a maioria teve dificuldade em definir com precisão as etapas do ciclo de uma máquina térmica, mas expressaram, em sua maioria, que a máquina térmica não tem a totalidade de seu rendimento devido às leis da Termodinâmica.

Na sexta questão, apresentamos uma figura, com a parte 1 e parte 2, de uma simulação do VPython, sobre uma expansão gasosa. Questionamos, essencialmente, sobre essa expansão, sobre qual transformação se tratava essa simulação e quais grandezas físicas sofreram alterações nesta simulação. Quanto a isso, os alunos registraram a maior parte de respostas positivas, demonstrando domínio médio e avançado sobre o tema.

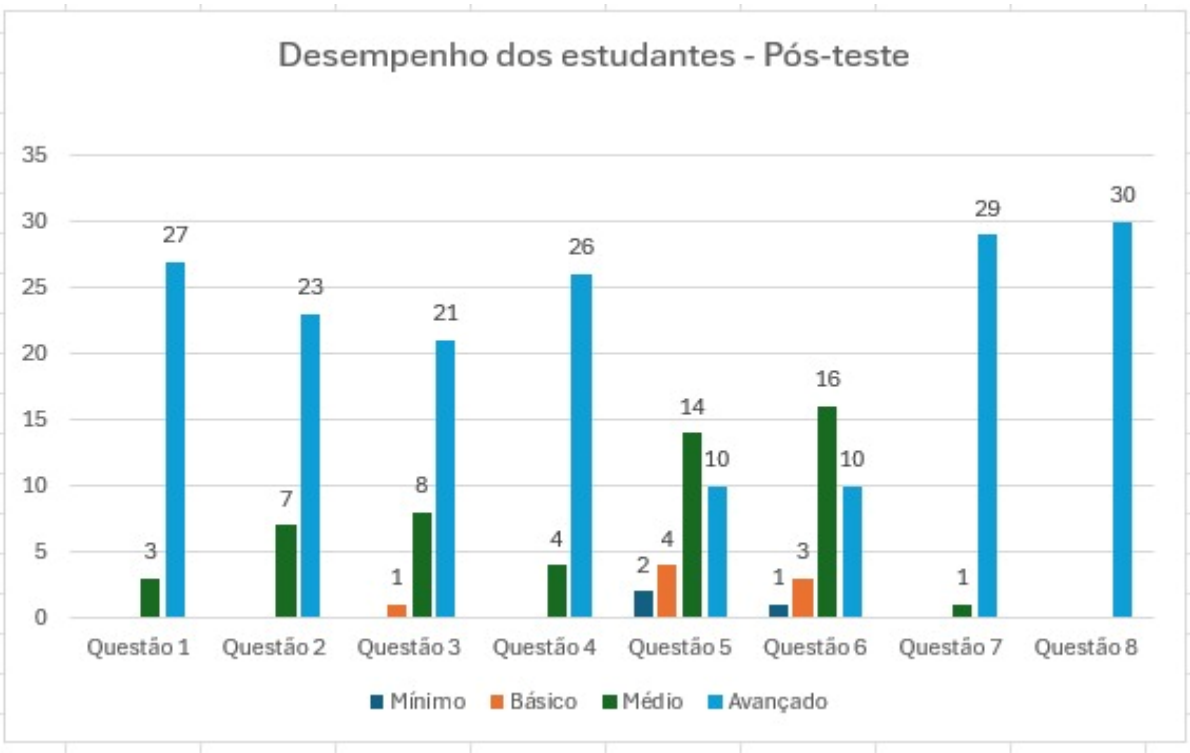
Na sétima questão, o foco foi sobre o próprio simulador, VPython, para que os mesmos colocassem seus pontos de vista sobre o mesmo. Os alunos foram unânimes em reconhecer a importância, a facilidade de compreensão e operacionalização do mesmo, então foram considerados como avançados, neste quesito.

Na oitava e última questão, a indagação foi sobre a eficiência das metodologias utilizadas na aplicação deste produto educacional, onde todas as colocações foram extremamente positivas. Como não havia uma resposta a ser considerada certa, neste caso, todos foram classificados com nível avançado.

Após a análise das respostas apresentadas no Pós-teste, percebemos o quão satisfatório se apresentou a aplicação deste produto educacional e se constatou o alto índice de aprendizagem significativa dos alunos sobre o tema.

Isto posto, consolidados os resultados alcançados no Pós-teste, no gráfico a seguir, onde as respostas dos alunos no mesmo, foram classificadas como aprendizagem mínima, básica, média e avançada.

Figura 37- Gráfico do desempenho dos estudantes no pós-teste.



Acervo: Autoria própria, 2024

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, é possível concluir que o ensino da Física, e especificamente da termodinâmica, no Ensino Médio, enfrenta desafios significativos, mas também apresenta oportunidades promissoras para a inovação pedagógica.

Compreendendo a realidade dos desafios e buscando propor soluções para melhorar o ensino da Física, o presente trabalho apresentou um produto educacional baseado na teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly e na aprendizagem significativa conforme David Ausubel. A proposta didática desenvolvida envolveu a aplicação de simulações em 3D com o VPython, como um recurso pedagógico inovador para tratar os conceitos de termodinâmica no Ensino Médio.

Ao longo das etapas do Ciclo de Experiência Kellyana (CEK) — previsão, investimento, encontro, confirmação/desconfirmação e revisão — foi possível observar um engajamento crescente dos alunos com o conteúdo. A dinâmica inicial e o pré-teste evidenciaram a necessidade de uma abordagem que correlacionasse o cotidiano dos alunos com os conceitos científicos. A introdução teórica complementada por vídeos e *slides* permitiu a construção de uma base sólida de conhecimento, facilitada pela interação ativa dos estudantes com os conteúdos.

As etapas seguintes de investimento e encontro foram marcadas por atividades práticas, como a construção de mapas conceituais e a participação em jogos interativos (quiz Kahoot!). Tais atividades foram essenciais para consolidar o aprendizado de maneira lúdica, promovendo um ambiente colaborativo e incentivando o pensamento crítico. A simulação de transformações gasosas com o VPython, que envolveu a manipulação de variáveis como pressão, volume e temperatura, proporcionou uma compreensão mais prática e ancorada dos conceitos termodinâmicos.

A etapa de validação confirmou a eficácia das simulações em 3D como uma ferramenta pedagógica. O feedback imediato durante as simulações permitiu uma rápida correção de eventuais mal-entendidos, demonstrando o potencial do VPython para complementar as aulas teóricas e promover uma aprendizagem mais ativa e significativa. A interação com esta ferramenta não apenas facilitou a internalização dos conceitos acadêmicos, mas também incentivou o desenvolvimento de habilidades computacionais nos alunos, preparando-os para um mundo cada vez mais digital e tecnológico.

A última fase, de revisão construtiva, consolidou o progresso dos alunos por meio do pós-teste e da revisão dos conceitos à luz das experiências práticas vivenciadas. Este

processo contínuo de avaliação e reavaliação, conforme propõe a teoria de Kelly, foi fundamental para a construção de um conhecimento mais profundo e significativo.

A implementação dessa proposta inovadora também ressaltou a importância da integração entre teoria e prática. Os conceitos termodinâmicos foram abordados de forma a mostrar suas aplicações no cotidiano e na indústria, tornando o aprendizado mais relevante e interessante para os alunos. A contextualização dos conteúdos, aliada a recursos pedagógicos digitais, promoveu uma experiência educacional mais rica e eficaz.

Além disso, ao se utilizarem tecnologias de simulação, os alunos puderam visualizar e manipular os fenômenos estudados, o que facilitou a compreensão dos complexos processos da termodinâmica, como as transformações isotérmicas, isovolumétricas e adiabáticas. Este tipo de abordagem prática tem se mostrado importante para a aprendizagem científica, conforme enfatizado por diversas pesquisas na área de ensino de Ciências.

Os resultados obtidos após a aplicação do produto educacional demonstraram uma melhoria significativa na compreensão dos conceitos de termodinâmica pelos alunos.

O uso das simulações revelou um interesse renovado dos alunos pela Física, especialmente na abordagem de conceitos complexos. A motivação intrínseca foi amplificada pelo ambiente de aprendizagem investigativo, onde os estudantes puderam experimentar, observar resultados em tempo real e corrigir erros durante o processo. Esta abordagem prática e interativa não só aumentou o engajamento, como também facilitou uma compreensão mais profunda e duradoura dos princípios termodinâmicos.

Em termos de aprendizado, os alunos mostraram uma clara progressão em seus conhecimentos. As atividades práticas ajudaram a solidificar conceitos teóricos, permitindo que os alunos aplicassem o que aprenderam de maneira tangível. O pós-teste indicou uma melhoria significativa em comparação com o pré-teste, refletindo o sucesso das simulações e das atividades relacionadas em termos de entendimento e retenção de conhecimento.

Enfatiza-se que a introdução de simulações em 3D, aliada a uma sequência didática centrada na experiência ativa dos alunos, é uma estratégia pedagógica eficaz para o ensino de Física no Ensino Médio. Esta abordagem não apenas facilita a compreensão de conceitos complexos, como também aumenta o engajamento e a motivação dos alunos, tornando o aprendizado mais significativo e duradouro.

Este estudo reafirma a importância da inovação pedagógica para superar os desafios do ensino de Física. O uso de tecnologias digitais, a contextualização dos conteúdos e a adoção de métodos de ensino que promovam a aprendizagem ativa são fundamentais para melhorar a qualidade da educação e preparar os alunos para o futuro. É essencial que essa

visão seja amplamente adotada e adaptada, atendendo às particularidades de cada contexto educativo, para que possamos formar alunos mais preparados, curiosos e engajados, prontos para enfrentar os desafios de um mundo em permanente transformação.

Assim, para continuar e expandir este trabalho, várias propostas podem ser consideradas. Em primeiro lugar, é fundamental a integração de mais tópicos da Física que possam beneficiar-se de simulações em 3D, ampliando o espectro de aprendizado interativo. Por exemplo, estender as simulações para áreas como eletromagnetismo e mecânica quântica, que também possuem conceitos abstratos e desafiadores, pode ser extremamente benéfico.

Outro aspecto importante é o desenvolvimento de uma plataforma online que reúna todas as simulações e recursos didáticos em um único ambiente virtual. Isso facilitaria o acesso dos alunos às ferramentas necessárias, promovendo um aprendizado autônomo e contínuo. Além disso, a criação de uma comunidade de prática, onde professores possam compartilhar experiências, lições aprendidas e melhores práticas na utilização do VPython, pode ser um potente recurso de desenvolvimento profissional.

Portanto, investir em formação continuada para professores também é um dos pontos elementares. Oferecer workshops e cursos sobre como integrar simulações no ensino de Física e como usar ferramentas como o VPython pode capacitar mais educadores a adotar essas práticas, criando um efeito multiplicador no ensino da ciência.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Roseleine Maria de; STACHESKI, Geison Carlos; TREVELIN, Adriana Saugo. **O ensino da física através das tecnologias**. 2021. Disponível em: https://repositorio.uninter.com/bitstream/handle/1/1184/ADRIANA%20SAUGO%20TREVELIN_308473.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=A%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20das%20tecnologias%20no,num%20processo%20l%C3%B3gico%20e%20vis%C3%ADvel. Acesso em: 09 de Out. de 2024.

ALVES, A. D. **Introduzindo a geometria fractal no ensino médio**: uma abordagem baseada nas formas dos objetos construídos pela natureza. 2008. 122f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2008.

ANDRADE, A.; CORRALLO, M. V. **Uma análise das influências da cultura maker e tinkercad no ensino de Física**. Seminário De Iniciação Científica Do Litoral Norte. 2020.

ARAÚJO, Ewerton Souza de. **O ensino de física mediado pelas tecnologias da informação e comunicação (TICs): a construção e aplicação de um ambiente hipermidiático para o ensino da natureza da luz**. Maceió, 2019. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL CAMPUS A.C. SIMÕES INSTITUTO DE FÍSICA - IF MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – MNPEF.

ARAÚJO, R. P. **As dificuldades na aprendizagem de física no ensino médio da Escola Estadual Dep. Alberto de Moura Monteiro**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Angical do Piauí, 2015.

AUSUBEL, David P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos**: Uma Perspectiva Cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.

AUSUBEL, David P.; NOVAK, Joseph D.; HANESIAN, Helen. **Psicologia Educacional.** Trad. de Eva Nick *et al*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BALDISSERA, José. A. **O ensino e a aprendizagem em História e os mapas conceituais**. 1996. Tese (Doutorado em Educação) – PUC, Porto Alegre, 1996.

BARRETO, Lúcia Angélica Da Cruz; MENEGOLI, Clesner Alexandre; SILVA, Arlindo *et al*. **Contribuições de Ausubel e Kelly**: fundamentos e aplicações no pensamento crítico educacional, 2024. DOI:10.5281/zenodo.11066215.

BATISTA, Francisco Bismak Freire; SOUSA, Lázaro Luis de Lima; SILVA, Jusciane da Costa e Silva. Uso do aplicativo FISAPP no ciclo de Kelly para complementação de estudos sobre corrente elétrica. **Interfaces da Educação**, Paranaíba, v. 14, n. 40, p. 134-149, 2023. ISSN 2177-7691.

BERTULANI, Carlos. **Projeto ensino de Física a distância**. 2007. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce200/Processo_Adiabatico_Lier.pdf. Acesso em: 30 de jul. 2024.

BROPHY, J. H.; ROSE, R. M.; WULFF, J. **Ciência dos materiais**: propriedades termodinâmicas. Rio de Janeiro: LTC, 1972.

CARVALHO, P. S.; OLIVEIRA, A. C. S. Uso de simulações computacionais em aulas de Física: um estudo sobre a sua influência no processo de aprendizagem dos estudantes com deficiência. Tear: **Revista de Educação, Ciência e Tecnologia**, Canoas, v. 10, n. 1, 2021.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos fluidos – Fundamentos e aplicações**. Porto Alegre: AMGH, 2015.

COOPER, Jeffrey S.; TENNY, Kevin M. Comportamento do gás ideal. **PubMed**, 2024. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441936/. Acesso em: 01 de jun. 2024.

COSTA, J. M. S. **Metodologia simplificada para a análise termoeconômica de sistemas de cogeração como motor *Stirling***. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 2013.

COSTA, L. G.; BARROS, M. A. **O ensino da física no Brasil**: Problemas e Desafios. XII Congresso Nacional de Educação, Pontifícia Universidade Católica do Paraná. 2019.

COSTA, L. G.; BARROS, M. A. O ensino da Física no Brasil: problemas e desafios. 2015.

COSTA, Marcia. **Simulações computacionais no Ensino de Física: Revisão Sistemática de publicações da área de Ensino.** In: XIII Congresso Nacional de Educação, 2017, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: s.n., 2017. p. 7532.

CURADO, Adriano. **Ciclo de Carnot – o que é, história, etapas, utilidade e Máquina de Carnot**. 2023. Disponível em: https://conhecimentocientifico.r7.com/ciclo-de-carnot-maquina-de-carnot/. Acesso em: 01 de jun. 2024.

DULLIUS, Nathalia Heloisa. **Modelagem e análise experimental de um motor Stirling tipo Alfa**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2019. Disponível em: https://palotina.ufpr.br/energiaufpr/wp-content/uploads/sites/16/2019/12/TCC-nathalia-dullius.pdf. Acesso em: 01 de jun. 2024.

FELICETTI, S. A.; PASTORIZA, B. S. Aprendizagem significativa e Ensino de Ciências Naturais: um levantamento bibliográfico dos anos de 2000 a 2013. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Porto Alegre, Instituto de Física, UFRGS, v. 5, p. 1-12, 2015. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID78/v5_n2_a2015.pdf. Acesso em: 01 de jun. 2024.

FERNANDES, Yolanda Dias da Silva. **As contribuições das TICs no ensino da Física na educação básica.** Cajazeiras, Paraíba, 2019. Disponível em: http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/11005/3/YOLANDA%20DIAS%20DA%20SILVA%20FERNANDES.%20TCC.%20LICENCIATURA%20EM%20F%c3%8dSICA.%202019.pdf. Acesso em: 09 de Out. de 2024.

FERREIRA, A. J. D. S. et al. A utilização do aplicativo “física interativa” no ensino de Física. **Research, Society and Development,** v. 10, n. 6, e5011068885, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.68885.

FONTES, Lafaithe. **Primeira lei da Termodinâmica e suas aplicações**. Trabalho de Conclusão de Curso, Especialização em Ensino de Química. Universidade Federal do ABC.

Santo André-SP, 2021. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/31075/1/MATHEUS_CARVALHO_ATIVIDADE+FINAL+1.pdf. Acesso em: 30 de jul. 2024.

FOWLER, Michael. **Termodinâmica dos gases ideais**: calores específicos, isotermas, adiabatos. 2018. Disponível em: https://galileo.phys.virginia.edu/classes/152.mf1i.spring02/SpHeatGas.htm. Acesso em: 02 de jun. 2024.

OLIVEIRA, Mário José de. **Termodinâmica.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005. ISBN 978-85-88325-47-0.

HALL, C. S.; LINDZEY, G.; CAMPBELL, J. B. **Teorias da personalidade**. Porto Alegre, RS: Artmed, 2007.

FINN, Colin B. P. Termodinâmica: **Fundamentos e Aplicações.** 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física**: Gravitação, Ondas e Termodinâmica (vol. 2). 10. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2016.

HELERBROCK, Rafael. Gás ideal. **Brasil Escola**, 2016. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/gas-ideal.htm. Acesso em: 02 de jun. 2024.

HELERBROCK, Rafael. Gás ideal. **Mundo Educação**, 2019. Disponível em: https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-gas-ideal.htm. Acesso em: 02 de jun. 2024.

HELERBROCK, Rafael. **Máquinas térmicas**. 2022. Disponível em: https://www.preparaenem.com/fisica/maquinas-termicas.htm. Acesso em: 02 de jun. 2024.

HELERBROCK, Rafael. Máquinas térmicas; **Brasil Escola**, 2019. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/maquina-termicaaplicacao-segunda-lei-termodinamica.htm. Acesso em: 02 de jun. 2024.

HELERBROCK, Rafael. Transformações gasosas; **Brasil Escola**, 2018. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/quimica/transformacoes-gasosas.htm. Acesso em: 02 de jun. 2024.

HUBERMAN, A.M. **Como se realizam mudanças em educação: subsídios para o estudo do problema da inovação.** São Paulo: Cultrix, 1973.

KAHOOT!. **Quiz sobre termodinâmica-lei dos gases**. 2024. Disponível em: https://create.kahoot.it/details/fe5e76c2-c18d-45fe-afe9-ec7f7f5874d6. Acesso em: 18 de abr. 2024.

KELLY, G. A. ***Theory of personality****: the psychology of personal constructs*. New York: Norton, 1963.

KLEUBER. CódigoFinal5.py. **Produto educacional**. Disponível em: https://www.glowscript.org/#/user/kleuber.produtoeducacional/folder/AmbienteFinalizado1.py/program/C%C3%B3digoFinal5.py/edit. Acesso em: 01 de jun. 2024.

KLEUBER. PE.PY. **Produto educacional**. Disponível em: https://www.glowscript.org/#/user/kleuber.produtoeducacional/folder/AmbienteFinal.py/program/PE.PY/edit. Acesso em: 01 de jun. 2024.

KOCHAN, Keity Alesandra; STACHESKI, Geison Carlos. **Dificuldades de Aprendizagem em Física**. 2020. Disponível em: https://repositorio.uninter.com/bitstream/handle/1/1128/KEITY%20ALESANDRA%20KOCHAN_2797953.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 04 de jun. 2024.

LAGE, Eduardo. Introdução à Termodinâmica. **Revista Ciência Elementar**, v. 7, n. 2, 020, 2019. DOI: http://doi.org/10.24927/rce2019.020.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física de olho no mundo do trabalho**. São Paulo: Scipione, 2003.

MELO, Eduardo Henrique Silva. **O uso de tecnologias de informação e comunicação (TICs) no ensino de física**. Araguaína: s.n., 2019. Disponível em: https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/3079/1/EDUARDO%20HENRIQUE%20SILVA%20MELO%20-%20TCC%20-%20F%C3%8DSICA%20.pdf. Acesso em: 09 de Out. de 2024.

MELO, Pâmella Raphaella. **Transformação adiabática**; Brasil Escola. 2018. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/estudo-transformacao-adiabatica.htm. Acesso em: 02 de jun. 2024.

MELO, Pâmella Raphaella. **Transformações gasosas**. 2018. Disponível em: https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/transformacoes-gasosas.htm.

MORAN, José Manuel. **A Educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá**. Campinas, SP: Papirus, 2007.

MOREIRA, Adelson Fernandes; COUTO, Francisco Pazzini. **A Termodinâmica do Motor de Combustão Interna**: implicações sociais do uso dessa tecnologia. 2019. Disponível em: https://www.cac.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/30/2019/10/main.pdf. Acesso em: 04 de jun. 2024.

MOREIRA, M.A. **Interfaces entre teorias de aprendizagem e Ensino de Ciências/Física**. Porto Alegre: UFRGS, 2015. Online. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v26_n6.pdf. Acesso em: 04 de jun. 2024.

MORO, F. T.; NEIDE, I. G.; REHFELDT, M. J. H. **Atividades experimentais e simulações computacionais: integração para a construção de conceitos de transferência de energia térmica no ensino médio. Caderno** Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 3, p. 987-1008, dez. 2016.

MOURA, Tiago Martins. **A segunda lei da termodinâmica e o conceito de entropia**: uma proposta de sequência didática potencialmente significativa. 2017.

MOURA, Wlademir Cardoso de. **Proposta de ensino de Física em óptica geométrica usando uma simulação do PhET e óptica física através de experimentos.** 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física – PROFIS). Instituto Fed. de Educ, Ciên. e Tecn. do Rio Grande do Norte, São Paulo, 2016.

NEVES, Ricardo Ferreira; CARNEIRO-LEÃO, Ana Maria dos Anjos; FERREIRA, Helaine Sivini. A interação do ciclo da experiência de Kelly com o círculo hermenêutico-dialético para a construção de conceitos de biologia. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 2, p. 335-352, 2012. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/e0ee/d2f1acc96e7868b63baca2140910988a34ee.pdf. Acesso em: 30 de jul. 2024.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. v. 2. São Paulo: Edgard Blücher, 1990.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica**: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor (vol. 2). São Paulo: Editora Blucher, 2016.

OLIVEIRA, Guilherme Saramago. **O ensino de matemática e os fundamentos teóricos e metodológicos da aprendizagem**. Uberlândia, MG: FUCAMP, 2021. 114 p.: il.

PÁDUA, Antonio Braz; PÁDUA, Cléia Guiotti; SILVA, João Lucas Correia *et al*. Termodinâmica clássica ou termodinâmica do equilíbrio: aspectos conceituais básicos. **Revista Insignare Scientia**, 2020. Disponível em: https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/download/2974/2520/9827. Acesso em: 30 de jul. 2024.

PASSOS, Júlio César. Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica. In: **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 31, n. 3, 3603, 2009.

PASTORIO, D. P.; ALVES, J.; FRAGOSO, T. A. Uma revisão bibliográfica sobre o uso de software de análise de dados: um olhar para o Octave. **REnCiMa**, São Paulo, v. 12, n. 3, 2021.

PRANTS, Willian T. **Transformações gasosas**. 2020. Disponível em: https://www.ufrgs.br/colegiodeaplicacao/wp-content/uploads/2020/08/Semana-18-Fi%CC%81sica-200.pdf. Acesso em: 04 de jun. 2024.

RIBEIRO, Eveling. **Máquinas térmicas**. 2023. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7708153/mod_resource/content/3/Aula1_MaquinasTermicas.pdf. Acesso em: 04 de jun. 2024.

RIBEIRO, M. R. **Análise das dificuldades relacionadas ao ensino de física no nível médio**. 2019. Monografia (Licenciatura Plena em Física), Universidade Federal de Uberlândia.

ROCHA, João Augusto de Lima. Termodinâmica da fratura: uma nova abordagem do problema da fratura nos sólidos. Salvador: EDUFBA, 2010. 192 p.

ROCHA, Laurentino Gonçalves; TENÓRIO, Alexandro Cardoso; FERREIRA, Helaine Sivini *et al*. **O ciclo da experiência Kellyana como novo processo metodológico para o ensino das relações entre força e movimento retilíneo uniforme**. 2020. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/download/4054/2618/13254. Acesso em: 30 de jul. 2024.

ROSA, Carlos Augusto de Proença. **História da ciência**: a ciência moderna. 2. ed. Brasília: FUNAG, 2012.

SANTOS FILHO, Jailton. **As Leis da Termodinâmica**: contexto histórico, definições e aplicações. 2020. DOI: 10.37885/210303684.

SANTOS, Anderson Oramisio; OLIVEIRA, Guilherme Saramago; SAAD, Núbia dos Santos. Kelly e a teoria dos construtos pessoais: fundamentos para o ensino da matemática. **Revista Valore**, Volta Redonda, v. 6, edição especial, p. 112-130, 2021.

SANTOS, Léo; CRUZ, Frederico. Ciclos termodinâmicos: uma proposta de estudo mediado por applets. **Caderno de Física da UEFS**, v. 15, p. 11, 2017.

SANTOS, Luis Guilherme Da Silva. **Ensino de termodinâmica para alunos do fundamental**: anos finais. Recife, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/50828/7/TCC%20Luis%20Guilherme%20da%20Silva%20Santos.pdf. Acesso em: 02 de jun. 2024.

SANTOS, Monique Eves Souza. **As dificuldades no ensino de física para o Ensino Médio**: estudo de caso em uma escola da Rede Pública Estadual. Ji-Paraná, RO, 2019.

SCHULZ, Daniel. **Aprendizagem significativa de termodinâmica no ensino médio através do estudo de máquinas térmicas como tema motivador**. UFRGS, 2009. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/isotermica.htm. Acesso em: 09 de Out. de 2024.

SCHULZ, Daniel. **Ciclos Termodinâmicos**. 2009. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclos_termodinamicos.htm. Acesso em: 01 de jun. 2024.

SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W. **Física: calor, ondas e óptica**. Rio de Janeiro: Universidade de Brasília, 1973.

SILVA, Geilson Rodrigues, ERROBIDART, Nádia Cristina Guimarães. A construção histórica contextual da termodinâmica para o ensino médio. **RIS - Revista Interdisciplinar de Saberes**, v. 3, n. 5, set/dez. 2020. Disponível em: https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RIS/article/download/11526/7595. Acesso em: 04 de jun. 2024.

SILVA, Matheus Carvalho. **A importância da termodinâmica para o homem**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Instituição Educacional Anhanguera, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecânica, 2020. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/31075/1/MATHEUS_CARVALHO_ATIVIDADE+FINAL+1.pdf. Acesso em: 02 de jun. 2024.

SOUSA, V. M. et al. O papel das tecnologias de informação e comunicação no setor têxtil: uma revisão de literatura. In**: Simpósio De Integração Científica E Tecnológica Do Sul Catarinense**, 5., 2016, Araranguá. Anais eletrônicos… Araranguá: SICT-Sul, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315844368_O_papel_das_Tecnologias_de_Inform
acao_e_Comunicacao_no_setor_textil_uma_revisao_de_literatura_The_role_of_Information_ and_Communication_Technologies_in_the_textile_sector_a_literature_review Acesso em: 09 de Out. de 2024.

SOUZA, Gustavo Fernandes Xavier; SILVA, Ana. **Motores a combustão e termodinâmica**. 2019. Disponível em:

https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/65657/1/GUSTAVO_FERNANDES_XAVIER_DE_SOUZA.pdf. Acesso em: 04 de jun. 2024.

TAVARES, R. Aprendizagem significativa, codificação dual e objetos de aprendizagem. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 18, n. 2, 2010.

TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005.

WEB VPYTHON. Página principal da Web VPython. Disponível em: https://www.glowscript.org/. Acesso em: 01 de jun. 2024.

YOUTUBE. **Estudo dos Gases (Transformações Isocórica, Isobárica e Isotérmica)**. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=4X4sF87wWJc. Acesso em: 01 de jun. 2024.A

YOUTUBE. **Os estados da matéria e as mudanças de estados da matéria - Sólido, líquido e gasoso**. Disponível em: https://youtu.be/MtI4nfn7Ra8.

YOUTUBE. **Uso de máquinas térmicas**. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=JAFUnXkerqE. Acesso em: 01 de jun. 2024.

ZOHURI, Bahman. **Definições e princípios básicos da termodinâmica**. *In*: Trocadores de calor compactos. p. 1-17, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-29835-1_1.

PRODUTO EDUCACIONAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS BARRA DO GARÇAS
PROGRAMA DE MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 03

PRODUTO EDUCACIONAL

KLEUBER RODRIGUES FERREIRA MARTINS
FABRÍZIO MYAKI ALVES

ESTUDO DE PROCESSOS TERMODINÂMICOS DE UM GÁS IDEAL MEDIANTE SUA DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA: UMA PROPOSTA UTILIZANDO O AMBIENTE 3D VPYTHON

Barra do Garças - MT

2025

KLEUBER RODRIGUES FERREIRA MARTINS
FABRÍZIO MYAKI ALVES

ESTUDO DE PROCESSOS TERMODINÂMICOS DE UM GÁS IDEAL MEDIANTE SUA DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA: UMA PROPOSTA UTILIZANDO O AMBIENTE 3D VPYTHON

BARRA DO GARÇAS - MT
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

M386e Martins, Kleuber Rodrigues Ferreira.
Estudo de processos termodinâmicos de um gás ideal mediante sua descrição microscópica [recurso eletrônico] : Uma proposta utilizando o ambiente 3d vpython / Kleuber Rodrigues Ferreira Martins, Fabrizio Myaki Alves. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 57 f., il. color., pdf). -- 2025.

Produto Educacional (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário do Araguaia, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Barra do Garças, 2025.
Modo de acesso: World Wide Web: https://ri.ufmt.br.
Inclui bibliografia.

1. Termodinâmica. 2. Gases ideais. 3. TICs. 4. Gases. 5. Ensino de Física. I. Alves, Fabrizio Myaki. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, elevo meus mais sinceros agradecimentos a Deus, nosso Pai Celestial, de onde vem o dom da sabedoria e que me permitiu a realização deste mestrado, assim como minha evolução pessoal e profissional e sobretudo, de uma compreensão amplificada e aprofundada das Ciências da Natureza.

Externo meus agradecimentos a minha família, pelo incentivo e apoio integral para que eu pudesse ingressar e cursar este mestrado, eles foram o meu suporte e minha motivação na concretização deste sonho.

Agradeço especialmente a comunidade escolar do CEPI Polivalente Antônio Carlos Paniago, de onde sou integrante do corpo docente, por terem me aberto as portas e os espaços necessários para realizar a aplicação do nosso produto educacional. Quero ainda registrar de forma singular, aos alunos da 2ª série do Ensino Médio que, ao se envolverem calorosamente em todas as atividades propostas e viabilizaram a concretização desta aplicação.

Ao meu colega de mestrado, Ueudison Alves Guimarães, pela parceria, troca de conhecimentos e amizade, sempre pontuais e necessárias nesta caminhada.

Aos professores doutores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da Universidade Federal Do Mato Grosso (UFMT) polo 03 de Barra do Garças: Adellane Araújo Sousa, Arian Paulo de Almeida Moraes, Eduardo Ribeiro Mueller, George Barbosa da Silva, Rosangela Borges Pereira, por serem essenciais na minha formação acadêmica neste mestrado, e por serem ainda inspiração de como ser um educador com excelência.

Agradeço especialmente, ao meu orientador, o prof. Dr. Fabrizio Myaki Alves, por todo o conhecimento compartilhado, pelo apoio irrestrito e por estimular sempre a minha busca de uma melhor versão na elaboração e aplicação do produto educacional.

Por fim, registro minha gratidão, ao CAPES - Coordenação de
Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil, pelo incentivo financeiro que me possibilitou a realização deste Mestrado, em um Polo localizado a mais de 300 quilômetros de minha residência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ciclo da Experiência de Kelly CEK. 12
Figura 2- Simulações no ambiente 3D VPython de processos termodinâmicos de um gás ideal 21
Figura 3- Simulações no ambiente 3D VPython de um processo de transformação isobárica 22
Figura 4- Simulações no ambiente 3D VPython de um processo de transformação isotérmica 24
Figura 5- Simulações no ambiente 3D VPython de um processo de transformação isovolumétrica 25
Figura 6- Simulações no ambiente 3D VPython de processos termodinâmicos 26

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL 7
2. AS TDICS, O CICLO DE EXPERIÊNCIA E A APRENDIZAGEM SIGNFICATIVA 9
3. A IMPORTÂNCIA DA EXPERIÊNCIA NA TEORIA DOS CONSTRUTOS PESSOAIS DE GEORGE KELLY 10
4. AS ETAPAS NO CICLO DA EXPERIÊNCIA KELLYANA 14
5. CONCLUSÃO – VANTAGENS NO USO DO SIMULADOR 17
5.1 Vantagens sobre o uso do Vpython: 17
5.1.1 Visualização Dinâmica dos Conceitos: 17
5.1.2 Engajamento e Motivação: 17
5.1.3 Desenvolvimento de Habilidades Computacionais: 17
5.1.4 Aplicação Prática dos Conhecimentos: 17
5.1.5 *Feedback* e Avaliação Imediata: 18
6. DESCRIÇÕES DOS PROCESSOS TERMODINÂMICOS DE UM GÁS IDEAL MEDIANTE SUA DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA: UMA PROPOSTA UTILIZANDO O AMBIENTE 3D VPYTHON 19
6.1 Transformações gasosas 19
6.1.1 Transformação isobárica 21
6.1.2 Transformação Isotérmica 23
6.1.3 Transformação isovolumétrica 24
APÊNDICE 27
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO PARA APLICAÇÃO DO PRÉ-TESTE 28
APÊNDICE B - ATIVIDADE 2 30
APÊNDICE C - ATIVIDADE 3 32
APÊNDICE D - ATIVIDADE 4 35
APÊNDICE E - ATIVIDADE 5 38
APÊNDICE F - GUIA PARA ACESSO E EXECUÇÃO DOS CÓDIGOS 41
APÊNDICE G - CÓDIGOS DO PRODUTO EDUCACIONAL 45
Código 1 45
Código 2 51

1. APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Ser educador é ser, essencialmente, um ser que busca - para além do ensinar, um constante aprendizado e aprimoramento de suas técnicas e metodologias, a fim de atender a contento as demandas de sua clientela, cada dia mais exigente e tecnológica, particularmente no que tole o ramo da Física, dentro da Área de Ciências da Natureza.

A este propósito serve com maestria o programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), que nos possibilita este aprimoramento tão significativo.

O MNPEF, tem como requisito obrigatório para sua conclusão, que seja elaborado e executado um Produto Educacional, como parceiro indissociável da dissertação final do curso. A criação e efetivação deste produto educacional, que a princípio se vislumbrava como um grande desafio, se moldou finalmente como uma grande oportunidade de criação e disseminação de técnicas e metodologias inovadoras, que se norteiam, através do uso de simulações computacionais elaboradas e executadas no ambiente virtual 3D VPython, com a finalidade de estimular o uso de tecnologias (TDICs) em sala de aula, como canal certeiro para uma aprendizagem significativa dos alunos no tema proposto.

A escolha do VPython se deve por suas várias qualidades educacionais, sendo as principais: a visualização 3D intuitiva, o código simplificado para diagramas, o *feedback* imediato para os alunos, o foco nas disciplinas exatas - principalmente na de Física, e ainda, por ser uma plataforma livre e acessível com acesso online sem *backup*.

Dentro desta perspectiva, nosso produto explorou e proporcionou as simulações/animações no VPython, sobre as transformações gasosas, através do estudo dos processos termodinâmicos de um gás ideal, mediante sua descrição microscópica, para entendimento da dimensão macroscópica, pois sabemos que a mesma é explicada macroscopicamente.

Para o bom andamento da efetivação do planejamento do nosso produto, elaboramos um roteiro suscinto e objetivo, que serviu para auxiliar o aluno na interação positiva e bem-sucedida com os simuladores, possibilitando assim, um real aprendizado do conteúdo mencionado. Os códigos utilizados no simulador, escritos na linguagem de programação Python, estão disponibilizados na íntegra, nos anexos deste.

Assim, o objetivo primordial desse projeto é criar, através de recursos tecnológicos interativos, dinâmicos e atraentes ao público juvenil, possibilidades de aprendizagens significativas e contextualizadas através da interação dos educandos com o simulador virtual 3D VPython tendo como tema a Termodinâmica, especificamente os Gases Ideais e suas transformações gasosas.

Cremos que o presente produto, servirá como uma influência benéfica para o Ensino de Física na Educação Pública, pois mostra que é possível, de forma substancial e acessível, utilizar o simulador virtual 3D VPython, como ferramenta para um ensino-aprendizagem significativo, ao explorar todo seu potencial de interatividade, riqueza virtual, versatilidade e operacionalização intuitiva, que possibilitaram as aplicações dos conceitos e fenômenos físicos propostos como tema, contextualizando-os com o cotidiano de nossos alunos, assim como demonstra toda a sua potencialidade para outros temas dentro das Ciências da Natureza.

2. AS TDICS, O CICLO DE EXPERIÊNCIA E A APRENDIZAGEM SIGNFICATIVA

As inovadoras Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs), tem se mostrado um caminho certo e eficaz como viabilizador e facilitador do processo de ensino e aprendizagem e tem se tornado, cada dia mais, imprescindíveis dentro do ambiente escolar, oferecendo mecanismos que permitem a evolução presente e no futuro da educação.

Partindo deste pressuposto, o presente produto educacional, endossa sua prática, nas possibilidades reais e incentivo dos usos das TDICs em sala de aula, devendo, no contexto atual, ser um pré-requisito obrigatório a ser incorporado na prática docente dos professores de Física.

Nesta conjuntura, crê-se que a utilização das TDICs é instrumento que exerce uma gama de funções educativas, que passam pela instigação do interesse e motivação dos alunos para a aprendizagem concreta e não só de memorização, a oferta de uma ferramenta dinâmica e interativa atrativa e culmina, finalmente, na aprendizagem significativa dos conteúdos abordados, atendendo as expectativas de conhecimento atrelado a modernidade e tecnologia que fomentam as gerações de jovens que formam nossa principal clientela no Ensino Médio.

É inegável então, que as TDICs são a essência do processo de nosso produto educacional, por abrange de forma eficaz, os objetivos que buscamos alcançar.

Os pilares teóricos de aprendizagem que sustenta este trabalho, são: a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e o Ciclo de Experiência de Jorge Alexander Kelly entre outros. Estes foram eixos orientadores de todo o processo de construção e efetivação de nosso produto educacional e colocando-as em prática, pudemos comprovar a eficácia real e substancial as mesmas.

3. A IMPORTÂNCIA DA EXPERIÊNCIA NA TEORIA DOS CONSTRUTOS PESSOAIS DE GEORGE KELLY

Segundo George Alexander Kelly (1963), a aprendizagem não é um fenômeno exclusivo das escolas ou de ocasiões especiais, mas sim um processo intrinsecamente ligado à vivência de experiências. Portanto, se uma pessoa não aprende, isso significa que ela não viveu a experiência plenamente. Ele define a experiência como um ciclo composto por cinco etapas: Antecipação, Investimento, Encontro, Confirmação ou Desconfirmação, e Revisão Construtiva.

Compreendendo a experiência como um elemento central na teoria de Kelly, torna-se fundamental expor resumidamente a trajetória deste distinto psicólogo, cuja formação interdisciplinar e obras publicadas trouxeram significativas contribuições para o campo da Psicologia.

George Alexander Kelly, distinto psicólogo clínico e acadêmico norte-americano, cuja formação abrange Física e Matemática, conquistou um mestrado em Sociologia Educacional e um doutorado em Psicologia. Em 1955, ele publicou sua obra mais importante, “A Teoria dos Construtos Pessoais”, onde postula que os indivíduos percebem e constroem a realidade de formas diversas, introduzindo, assim, o conceito de Alternativismo Construtivo (Oliveira, 2021).

De acordo com Hall, Lindzey e Campbell (2007), na teoria kellyana os indivíduos diferem na maneira como constroem e interpretam o mundo, resultando em ações distintas. Todas as interpretações do universo estão sujeitas a revisão ou substituição, sublinhando a singularidade das percepções individuais.

Na visão de Kelly os indivíduos constroem, testam e reavaliam conceitos com o intuito de compreender e prever eventos futuros, desempenhando um papel análogo ao de cientistas. Em sua visão, os seres humanos desenvolvem teorias e hipóteses fundamentadas em suas experiências pessoais, e, por essa razão, ele os considerava “cientistas humanos”, pois formulam e testam hipóteses sobre o comportamento, aprendendo com os resultados obtidos (Santos; Oliveira; Saad, 2021).

A referente teoria valoriza a maneira como cada indivíduo constrói seu entendimento da realidade, enfatizando que a interpretação dessa realidade é influenciada mais pelo sujeito do que pela própria realidade objetiva. A motivação é percebida como intrínseca, sugerindo que as pessoas agem de acordo com as alternativas que percebem em suas interpretações (Hall; Lindzey; Campbell, 2007).

Segundo os estudos de Kelly (1963), a experiência humana é caracterizada pela constante construção e reconstrução dos eventos vividos, como delineado no Corolário da

Experiência: “O sistema de construções de uma pessoa varia à medida que ela sucessivamente constrói réplicas dos eventos” (p. 73). Não é o evento em si que confere maior experiência ao ser humano, mas sim a contínua interpretação e reinterpretação do que acontece.

As interpretações dos eventos atuam como hipóteses sobre as consequências dos comportamentos. Utilizam-se os resultados efetivos para validar o sistema de constructos, de forma análoga ao modo como os cientistas empregam dados para validar teorias. As antecipações são continuamente revistas à luz dos resultados, promovendo uma evolução progressiva do sistema de constructos. Kelly (1963) designou o termo “experiência” para referir-se à interpretação contínua dos eventos, em oposição à mera sequência destes (Batista; Sousa; Silva, 2023)

Na teoria Kellyana é sustentado que a experiência adquire sentido quando a pessoa participa ativamente dos eventos, abstraindo e estabelecendo semelhanças e regularidades entre eles. Essa abstração, que resulta do envolvimento em eventos únicos com desfechos variados e frequentemente inesperados, fomenta a aprendizagem por meio da modificação dos constructos (Rocha *et al*., 2020).

Kelly (1963) descreve o processo de aprendizagem humana através do Ciclo da Experiência Kellyana (CEK), composto por cinco fases ilustradas na figura a seguir (Figura CEK).

Figura 38- Ciclo da Experiência de Kelly CEK.

Fonte: Autoria Própria, baseado nas ideias apresentadas por Kelly (1963).

No CEK, como observado na figura 1, o desenvolvimento do conhecimento ocorre em cinco fases distintas. Na primeira fase, a pessoa utiliza seus constructos para antecipar um evento e formular hipóteses a respeito dele. Alves (2008) descreve essa etapa como um momento de previsão dos eventos, onde são desenvolvidas as primeiras réplicas dos processos observados e é elaborado um prognóstico preliminar dos eventos subsequentes.

Na segunda fase, a pessoa começa a coletar informações que possam contribuir para a construção de seu conhecimento a partir das réplicas dos eventos. Sendo nesse estágio que se estabelece a interação entre o indivíduo e os eventos vivenciados, transformando tanto a pessoa quanto a sua maneira de compreender os eventos (Oliveira, 2021).

À medida que avança para a terceira fase, a pessoa se envolve ativamente com o evento e reflete sobre as ideias formuladas nas fases anteriores. Esta é a fase em que o evento se concretiza, associando as estruturas prévias elaboradas ao contínuo refinamento dessas ideias.

Na quarta fase, o indivíduo testa as suas hipóteses em face do evento vivenciado, verificando sua validade. Nessa etapa é o momento de confirmação ou refutação das observações feitas, o que pode resultar na criação de novas construções cognitivas.

Na última fase do CEK, a pessoa revisa suas ideias à luz das experiências vividas, constituindo novos conhecimentos. O indivíduo reconhece uma mudança significativa em seu sistema de constructos, promovendo seu crescimento cognitivo por meio da experiência e do aprendizado (Neves; Carneiro-Leão; Ferreira, 2012).

4. AS ETAPAS NO CICLO DA EXPERIÊNCIA KELLYANA

A aplicação do produto, segue integralmente o CEK (Ciclo de Experiência de Kelly), como anteriormente descrita. Essa teoria destaca a maneira como os indivíduos elaboram e verificam suas percepções e entendimentos do mundo que os rodeia. Kelly propôs que os seres humanos atuam como "cientistas", formulando hipóteses e testando-as de forma constante através de suas relações com o ambiente e com os outros.

O ciclo, por sua natureza, é uma sucessão incessante e dinâmica que envolve cinco fases principais. Abaixo, apresentaremos uma descrição de cada uma dessas etapas:

ANTECIPAÇÃO: é o momento de checagem ou descontar dos conhecimentos prévios dos alunos sobre a Termodinâmica.

INVESTIMENTO: momento dedicado a fomentar o interesse dos alunos para o tema, levando-os a estarem propícios para o próximo momento.

ENCONTRO: este momento é dedicado a experiência em si do conteúdo, onde o aluno confronta a sua realidade e conceitos preexistes, com a realidade apresentada pelo entendimento científico.

REVISÃO OU VALIDAÇÃO: momento em que os alunos são levados a confirmar ou discordar de seus construtos.

REVISÃO CONSTRUTIVA: neste último momento, nos dedicamos a realizar atividades referentes a reflexão da discussão.

Isto posto, na aplicação do presente produto educacional, é imprescindível, num primeiro momento, a verificação dos conhecimentos prévios dos alunos participantes, sobre os temas físicos que serão abordados. Assim, como nosso produto se norteia pelo Ciclo de Aprendizagem de Kelly, a ferramenta escolhida para essa análise diagnóstica, foi a realização de um Pré-teste.

De posse dos resultados do Pré-teste, o professor já dispõe então de dados que servirão para a finalização de seu planejamento, e o estabelecimento das metas e dos focos que permearão o sucesso da aplicação.

Os conteúdos relacionados a esta proposta de produto, que é o estudo de processos termodinâmicos de um gás ideal mediante uma descrição microscópica, sugerem-se a introdução através de aulas expositivas, com o auxílio de recursos visuais, vídeos, slides em projetores de imagem, quiz como, por exemplo, o Kahoot! com a utilização de aparelhos celulares e atividades de fixação impressas. Como consta na tabela a seguir, seguindo o Ciclo de Aprendizagem de Kelly:

Tabela 1- Aplicação do produto educacional - teoria

Etapa e período empregado na execução	Tópico	Metodologia e recursos
1ª etapa: **ANTECIPAÇÃO** 02 aulas	**Dinâmica de introdução ao tema e aplicação do Pré-teste**	**AULA 01** Uma dinâmica para apresentar o tema, como quebra-cabeças de palavras chaves do tema, feito em grupos. **AULA 02** Foi aplicado um pré-teste (atividade impressa) para ver o nível de conhecimento dos estudantes em relação a esse conteúdo. (10 questões maioria subjetivas)
2ª etapa: **INVESTIMENTO** 02 aulas	**Átomo: Tijolo da Matéria**	**AULAS 03 e 04** Vídeos e curisidades sobre o tema. Introdução aos átomos, moléculas e a matéria e seus estados, através de slides, com a utilização de projetor.
3ª etapa **ENCONTRO** 04 aulas	**Grandezas, as Leis da Termodinâmica e Gás Ideal.**	**AULAS 05 e 06** Leis da termodinâmica e construção de um mapa conceitual: Temperatura (descrição microscópica); Pressão (descrição microscópica); Volume e a função de gás em máquina térmica. **AULA 07** Máquinas témicas, com vídeo, ilustração no projetor e fixação do conteúdo com o Jogo Kahoot!, com a utilização de seus celulares. **AULA 08** Gás ideal e as transformações: Isotérmicas, Isobáricas, Isovolumétricas, Adiabáticas. O estado do gás descrito pela equação: PV=nRT Utilizando o Laboratório de Física da Unidade Esolar e lousa.

Acervo: Autoria própria, 2024.

Após toda esta parte introdutória teórica e essencial, passamos então apresentação e subsequente utilização das simulações 3D no Vpython, conforme registrado na tabela abaixo:

Tabela 2- Aplicação do produto educacional – simulações

Etapa e período empregado na execução	Tópico	Metodologia e recursos
4ª etapa **VALIDAÇÃO** 05 aulas	**Simulações 3D no VPYTHON**	**AULA 09** Apresentação da plataforma Vpython e instalação nas máquinas da escola (chromebooks) e manuseio dentro das ferramentas já existentes. Apresentação do nosso ambiente (O código)

		AULA 10 e 11 Usando o código no ambiente Vpython para trabalhar as transformações isotérmicas. Usando o código no ambiente Vpython para trabalhar as transformações isovolumétricas. **AULA 12 e 13** Usando o código no ambiente Vpython para trabalhar as transformações isobáricas e adiabáticas.
5ª etapa **REVISÃO CONSTRUTIVA** 01 aula	**Pós-teste**	**AULA 14** Pós teste sobre o conteúdo trabalhado no ambiente Vpython, impresso com 8 questões objetivas.

Acervo: Autoria própria, 2024.

Esta etapa já é essencialmente a aplicação do produto em si, com a exploração do uso das TIC e do Simulador VPython.

Nesta fase de execução, os alunos precisam ter acesso à internet e computadores que possam ser conectadas a ela, para acessar o ambiente virtual disponível no site https://glowscript.org/. É importante neste momento, que o professor estabeleça as normas para acesso e utilização das máquinas, assim como as regras de condutas dos alunos durante as atividades on-line, para que possam realizar de forma bem-sucedida, todas as atividades propostas.

5. CONCLUSÃO – VANTAGENS NO USO DO SIMULADOR

O uso de simulações tridimensionais com o VPython para ensinar termodinâmica e ajudar os alunos a visualizar as transformações em gases, mostrou-se uma abordagem eficaz e inovadora. A termodinâmica, que abarca os conceitos de calor, trabalho, energia e suas respectivas leis, pode ser um tópico complexo e difícil de ser entendido somente por meio de aulas teóricas e leituras. Entretanto, a adição de recursos tecnológicos como o VPython proporcionou vários ganhos no processo educativo.

5.1 Vantagens sobre o uso do Vpython:

5.1.1 Visualização Dinâmica dos Conceitos:

As simulações 3D permitem que os alunos visualizassem fenômenos termodinâmicos de forma dinâmica e interativa. Conceitos como a expansão térmica, transferência de calor, e a segunda lei da termodinâmica podem ser ilustrados de maneira que as palavras e diagramas bidimensionais muitas vezes não conseguem capturar. Isso facilita a compreensão e retenção dos conceitos chave.

5.1.2 Engajamento e Motivação:

O uso de tecnologia e simulações interativas aumenta o engajamento dos alunos, motivando-os a participar das aulas e a explorar os conceitos de forma prática. A capacidade de manipular variáveis e observar os resultados em tempo real promove um ambiente de aprendizado ativo, onde os alunos podem experimentar e aprender com os próprios erros.

5.1.3 Desenvolvimento de Habilidades Computacionais:

Além dos conceitos de termodinâmica, os alunos também têem a oportunidade de desenvolver habilidades em programação e modelagem computacional. O VPython é uma ferramenta acessível e poderosa que introduz os alunos à programação em Python, um conhecimento valioso no mundo atual. Essa habilidade complementar pode ser um diferencial significativo na formação acadêmica e profissional dos alunos.

5.1.4 Aplicação Prática dos Conhecimentos:

Aplicação Prática dos Conhecimentos: As simulações permitem a aplicação prática dos conceitos teóricos aprendidos em sala de aula. Por exemplo, os alunos podem simular o comportamento dos gases ideais em diferentes condições de pressão e temperatura, permitindo uma compreensão mais profunda das leis de Boyle e Charles. Esse tipo de aprendizado experimental é crucial para a solidificação do conhecimento científico.

5.1.5 *Feedback* e Avaliação Imediata:

Feedback e Avaliação Imediata: As simulações fornecem um meio para *feedback* imediato, tanto para os alunos quanto para o professor. Os alunos podem ver os resultados de suas ações e entender as implicações dos conceitos em tempo real, enquanto o professor pode identificar rapidamente quaisquer mal-entendidos ou dificuldades que os alunos estiverem enfrentando.

Em síntese, a utilização de simulações tridimensionais com o VPython no aprendizado de termodinâmica propiciam avanços notáveis na forma como esses conteúdos são apresentados e entendidos. Essa metodologia possibilita tornar a aprendizagem mais interativa e acessível, e concomitantemente, equipa os alunos para um entorno cada vez mais digital e tecnológico. Recomenda-se que outras áreas do conhecimento explorem a inclusão de simulações e ferramentas digitais para enriquecer a experiência de aprendizado e facilitar uma compreensão mais profunda e duradoura dos princípios científicos.

6. DESCRIÇÕES DOS PROCESSOS TERMODINÂMICOS DE UM GÁS IDEAL MEDIANTE SUA DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA: UMA PROPOSTA UTILIZANDO O AMBIENTE 3D VPYTHON

O foco principal do nosso trabalho é simular as transformações sofridas por um gás ideal confinado em recipiente fechado, através do simulador Vpython, no qual podemos alterar as principais grandezas físicas (pressão, volume e temperatura), que se relacionam e se transformam em diferentes condições.

A simulação permite modelar as partículas do gás em um recipiente fechado e acompanhar a interação entre si e com as paredes do recipiente.

Na simulação, a temperatura do gás pode ser controlada diretamente, ou pode ser observada exatamente, como uma medida da energia cinética média das partículas. Ao aumentar a temperatura, as partículas se movem mais rapidamente, causando mais colisões e, consequentemente, aumentando a pressão. A simulação no VPython permite ver em tempo real o efeito da variação de temperatura, demonstrando visualmente como o aumento da energia térmica aumenta o movimento das partículas.

O volume é outro parâmetro que pode ser ajustado na simulação. Se aumentarmos o volume do recipiente, mantendo uma quantidade de gás e a temperatura constantes, as partículas terão mais espaço para se mover e a pressão cairá devido à menor frequência de colisões com as paredes (Lei de Boyle). O inverso também pode ser observado: reduzir o volume faz com que as partículas se comprimam, resultando em um aumento na frequência de colisões de partículas com as paredes do recipiente e, consequentemente, em um aumento da pressão. Esse comportamento é uma demonstração clara da Lei de Boyle, que estabelece uma relação inversa entre pressão e volume para um gás confinado, mantendo uma temperatura constante. Quando o volume é reduzido, as partículas têm menos espaço para se movimentar, e isso faz com que as colisões com as paredes sejam mais frequentes.

6.1 Transformações gasosas

As transformações gasosas acontecem quando mudamos a pressão, o volume ou a temperatura de um gás. Durante essas transformações, a pressão, o volume ou a temperatura de um gás podem ficar constantes. Essas mudanças definem como os gases se comportam e como seu estado físico muda ao alterar alguma dessas grandezas.

Portanto, existem quatro tipos de mudanças que podem ocorrer com os gases: isobárica (pressão constante), isotérmica (temperatura constante), isovolumétrica (volume constante) e adiabática (sem troca de calor) nessa última não aprofundaremos. As

transformações gasosas envolvem mudanças nas variáveis de estado, que incluem a pressão (P), o volume (V) e a temperatura (T) de uma quantidade (n) de um gás (geralmente um gás ideal). Para analisar essas transformações, dois conceitos principais são utilizados.

O primeiro conceito refere-se à relação entre as variáveis de estado do gás, expressa por:

$$\frac{P.V}{T} = Constante = n.R$$

Ou ainda,

$$P \,.\, V = n \,.\, R \,.\, T$$

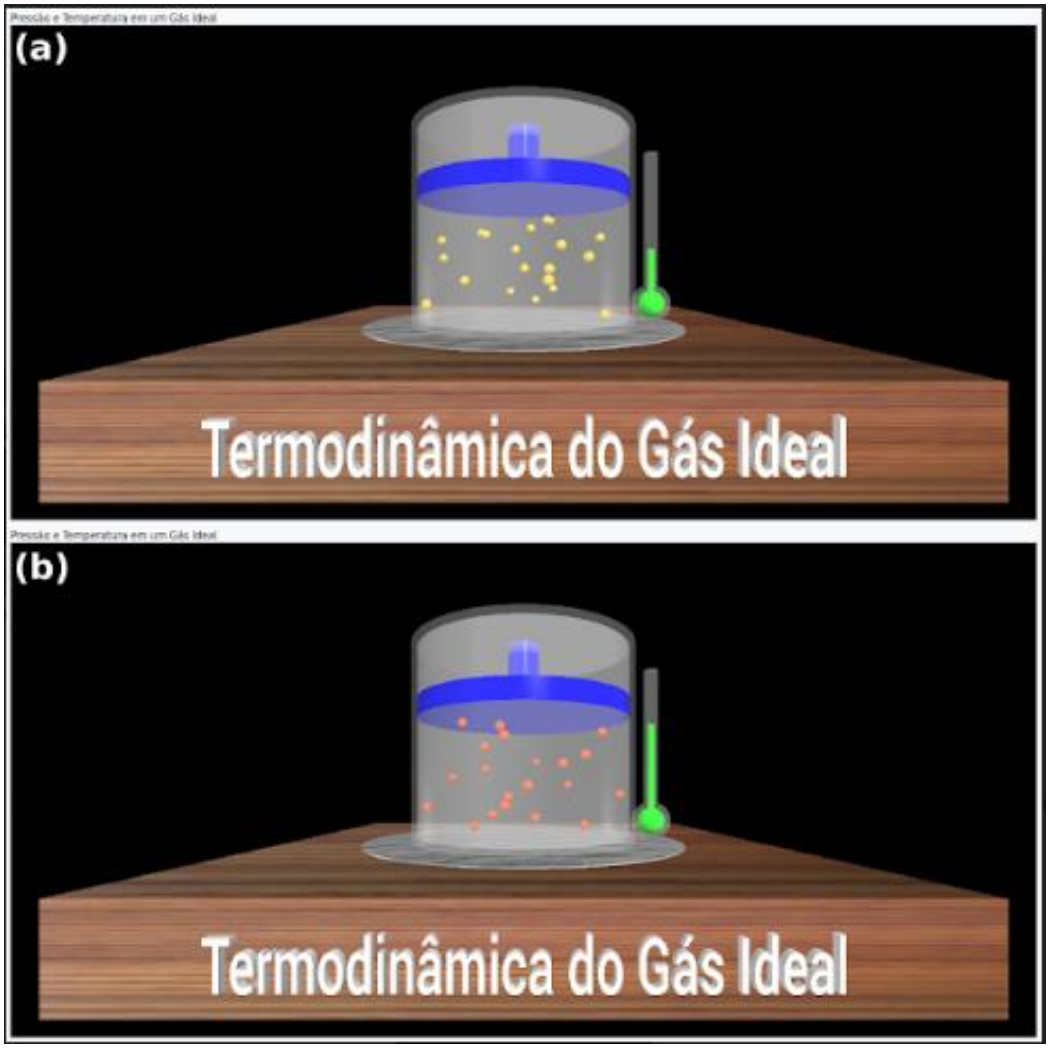
Essa é a equação de Clapeyron. Essa equação permite determinar as variáveis essenciais de um gás em qualquer ponto de uma transformação, independentemente do tipo. Em uma transformação, pode-se escrever a relação entre as variáveis no momento inicial (1) e as variáveis no momento final (2):

$$\frac{Pi.Vi}{Ti} = \frac{Pi.Vf}{Tf} = Constante$$

O segundo conceito oferece uma visão energética das transformações gasosas, através da primeira lei da Termodinâmica: Q = W + ΔU

Assim como a equação de Clapeyron, a primeira lei tem aplicação geral nas transformações, independentemente do tipo. Pode-se simplificar os problemas se uma das variáveis permanecer constante durante toda a transformação.

Figura 39- Simulações no ambiente 3D VPython de processos termodinâmicos de um gás ideal



Fonte: O autor (2024)

Como pode observar em nosso ambiente virtual criado em 3D Vpython, na figura (a) as moléculas representadas no simulador por bolinhas amarelas têm velocidades bem devagar e pode ser percebido que o termômetro ao lado tem uma temperatura bem baixa, mas com o passar do tempo como pode ser notado na figura (b) as moléculas mudaram de cor para o vermelho e suas velocidades são bem mais rápidas que as da figura (a) e o termômetro ao lado da simulação está bem alterado em relação a primeira.

6.1.1 Transformação isobárica

Um processo isobárico é uma transformação termodinâmica realizada sob pressão constante. O termo isobárico tem origem nas palavras gregas “iso”, que significa igual, e “baros”, que se refere à pressão. Assim, a pressão constante é mantida quando o volume do sistema se expande ou se contrai, o que neutraliza qualquer variação de pressão provocada pela transferência de calor.

Durante um processo isobárico, quando o calor é adicionado ao sistema, ocorre a realização de trabalho. Além disso, a energia interna do sistema sofre alteração. É importante observar que, de acordo com a primeira lei da termodinâmica, nenhuma quantidade, tal como trabalho ou calor, é anulada ou zerada.

Na transformação isobárica, a pressão permanece constante ao longo do tempo, à medida que o volume e a temperatura da amostra aumentam ou diminuem juntos. Um exemplo de transformação isobárica pode ser observado quando um balão está cheio de ar.

A Pressão constante – Transformação Isobárica. A primeira lei da Termodinâmica é expressa por:

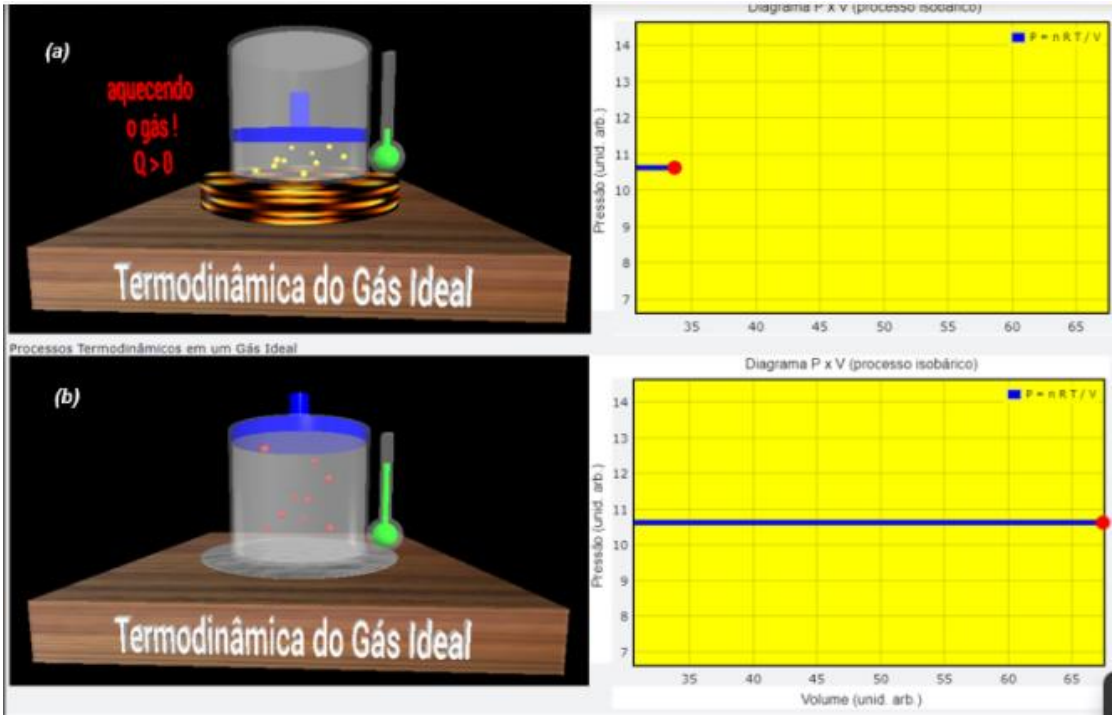
$$Q = P.\Delta V + \frac{3}{2}.n\ .\ R\ .\ \Delta T$$

E pode-se simplificar a relação entre as variáveis de estado:

$$\frac{Vi}{Ti} = \frac{Vf}{Tf} = Constante$$ (Lei de Gay-Lussac)

Para demostra a transformação isobárica utilizamos a seguinte simulação:

Figura 40- Simulações no ambiente 3D VPython de um processo de transformação isobárica



Fonte: O autor (2024)

Nesta simulação em 3D Vpython na figura (a) demostra um aquecimento de um gás ideal, onde inicialmente o volume era bem reduzido e observa-se que a temperatura é bem baixa, pois o termômetro demonstra isso e a cor das moléculas também confirma esse fato. Devido ao aquecimento do recipiente as moléculas aumentaram velocidade (temperatura)

e consequentemente o pistão se deslocou aumentando o volume mostrado na figura (b) e mantendo a pressão constante como mostra o diagrama ao lado da simulação.

6.1.2 Transformação Isotérmica

A transformação isotérmica ocorre quando, em um processo termodinâmico envolvendo um gás ideal, a temperatura se mantém constante ao longo de todo o processo. O termo "isotérmico" deriva das palavras gregas "iso", que significa igual, e "thermo", que significa temperatura.

Essa transformação também é conhecida como Lei de Boyle-Mariotte. Foi inicialmente enunciada por Robert Boyle em 1660, um químico irlandês que diferenciou a química da alquimia. Conforme a lei, para uma quantidade fixa de gás, o produto da pressão pelo volume é constante quando a temperatura não muda. Posteriormente, em 1676, Edme Mariotte, um físico francês, descobriu independentemente a mesma lei, e por isso, hoje em dia, ela leva o nome de ambos os cientistas.

Na transformação isotérmica, a temperatura não muda com o passar do tempo, mas o volume e a pressão do gás mudam de forma oposta. Por exemplo, quando um gás se expande ou se contrai devagar mantendo a temperatura constante.

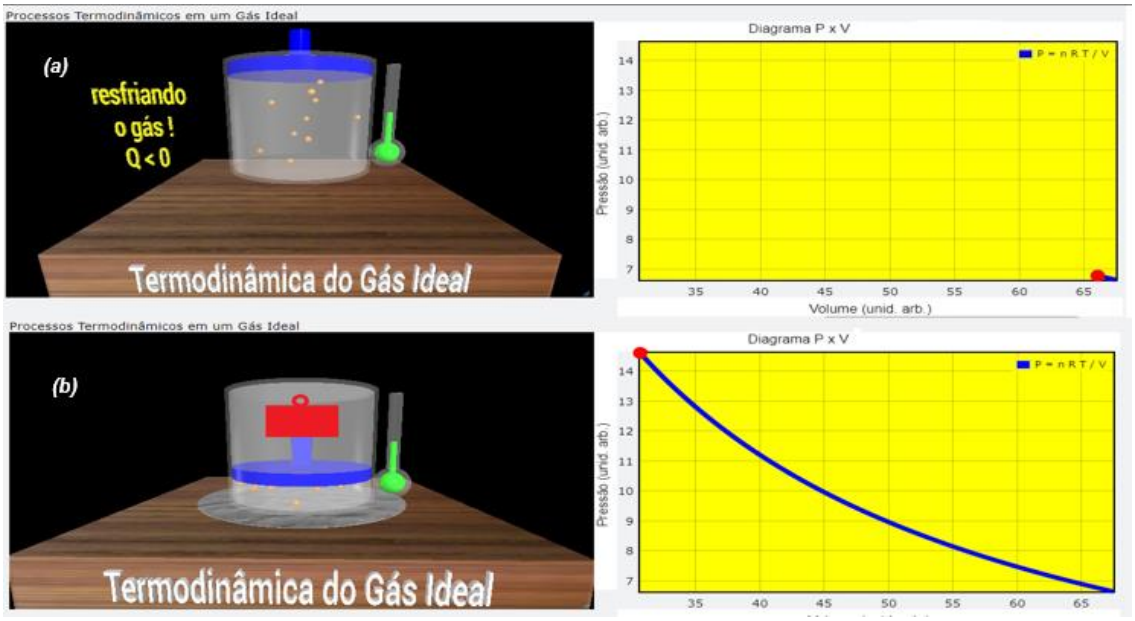
A primeira lei da Termodinâmica é expressa por: $Q = P \,.\, \Delta V + 0$

E pode-se simplificar a relação entre as variáveis de estado:

$Pi \,.\, Vi = Pf \,.\, Vf = constante$ (Lei de Boyle).

Para demostra a transformação isotérmica utilizamos a seguinte simulação:

Figura 41- Simulações no ambiente 3D VPython de um processo de transformação isotérmica



Fonte: O autor (2024)

Nessa simulação, 3D do VPython, além do diagrama deixar evidente que com a diminuição do volume, houve um aumentou da pressão, os estudantes também visualizaram e tiveram um maior entendimento sobre uma transformação isotérmica, onde não tem alteração na temperatura, isso pode ser observado de várias maneiras, visto ser uma Visualização Dinâmica. Na figura (a) o pistão está no limite superior do recipiente, pressão, volume e temperatura permanecem estáveis. Já na figura (b), é adicionado um peso sobre o pistão fazendo com que o volume diminua e consequentemente aumentando a pressão, mas a temperatura se manteve sem sofrer nenhuma variação.

6.1.3 Transformação isovolumétrica

Também conhecido como processo isométrico ou de volume constante, o termo isocórico vem do grego "iso", que significa "constante" ou "igual", e "choric", que quer dizer "espaço" ou "volume". Essa transformação gasosa ocorre em recipientes com paredes rígidas e é descrita pela Lei de Charles. Essa lei afirma que a razão entre pressão e temperatura em um gás ideal é sempre constante, com pressão e temperatura sendo diretamente proporcionais: se a pressão dobra, a temperatura também dobra.

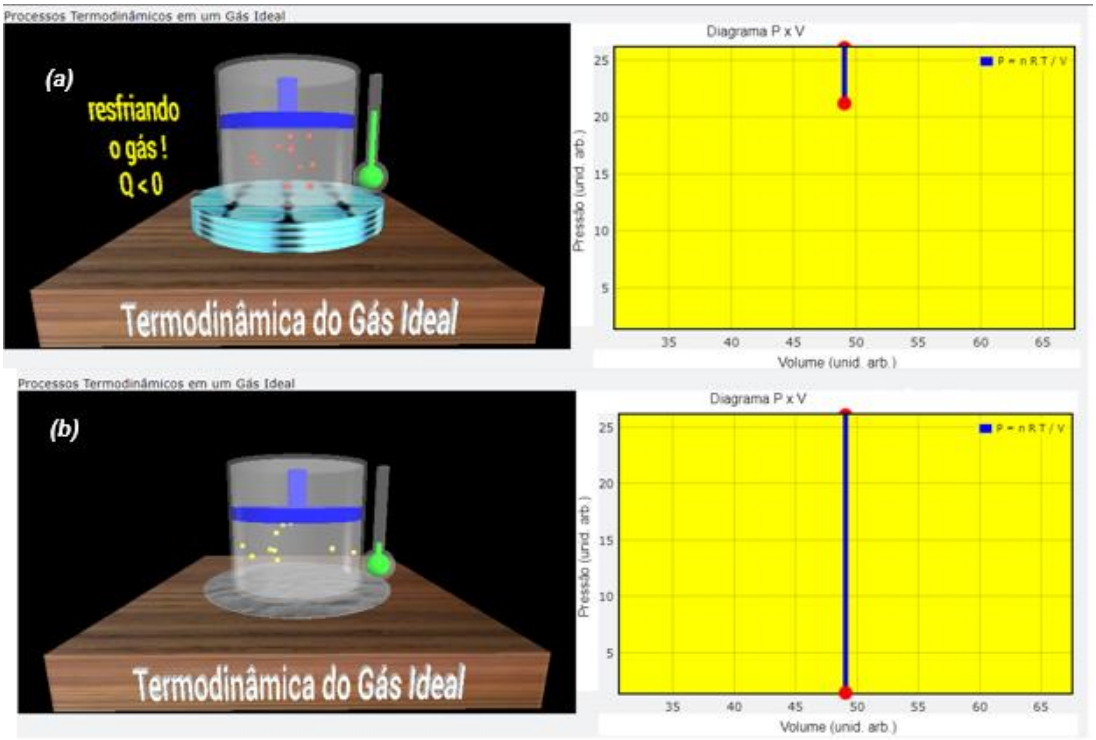
Na transformação isovolumétrica, também designada isocórica, o volume permanece constante ao longo do tempo, enquanto mudam a pressão e a temperatura da amostra de forma diretamente proporcional. Um exemplo de transformação isovolumétrica ocorre quando se aquece a água em uma panela de pressão.

Um processo isocórico é aquele em que o volume permanece constante, ou seja, o volume final é igual ao volume inicial.

$$V_f = V_i(\Delta v = 0, dv = 0)$$

Para demostra a transformação isovolumétrica utilizamos a seguinte simulação:

Figura 42- Simulações no ambiente 3D VPython de um processo de transformação isovolumétrica



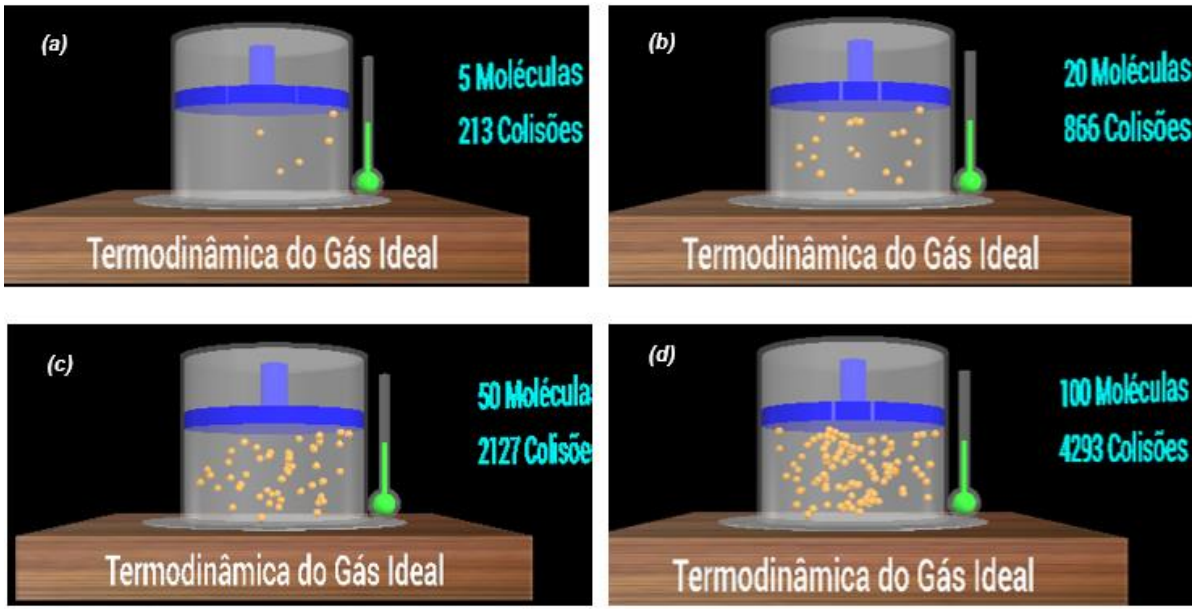
Fonte: O autor (2024)

Nesta simulação, que representa uma transformação isovolumétrica (ou isocórica) 3D no VPython, alguns pontos visuais podem ser destacados para ajudar os alunos a entenderem o processo em que o volume do gás permanece constante. Lembrando que o pistão está fixo a uma determinada altura. Na figura (a) a temperatura está um pouco elevada, podendo ser percebida através do termômetro e pela cor das partículas. Na figura (b) os alunos perceberam que, com o passar do tempo as moléculas estavam diminuindo suas velocidades (energia cinética do gás) e mudando suas cores. Alteração foi também notada no termômetro, onde a temperatura diminuiu.

Observaram e relataram que no gráfico P x V (vide figura da simulação 8), o volume se mantinha constante durante toda a simulação, mas a pressão estava diminuindo.

Para que os estudantes entendessem as variáveis que alteravam as transformações gasosas fizemos mudanças em várias grandezas do simulador, por exemplo mudávamos o número de moléculas e observávamos a quantidade de colisões nas paredes do ambiente.

Figura 43- Simulações no ambiente 3D VPython de processos termodinâmicos



Fonte: O autor (2024)

APÊNDICE

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO PARA APLICAÇÃO DO PRÉ-TESTE

ATIVIDADE 1

PRÉ-TESTE

1) Defina temperatura. Dica: lembre-se do termômetro.

---

2) O que é pressão? Dê exemplos de situações associadas a essa grandeza.

---

3) O que é calor? Existe alguma relação dessa grandeza com o forno ou com a geladeira? Descreva.

---

4) Calor e temperatura são sinônimos, ou seja, possuem o mesmo significado?

---

5) O que significa volume para você? Dica: lembre-se de uma mochila ou uma vasilha que armazena alimentos.

---

6) Retiramos um pote com sorvete do congelador colocando-o sobre a mesa.

a) O que acontece com o sorvete após algum tempo?

---

b) Saberia dizer por que isso ocorre?

---

c) Aponte a(s) grandeza(s) física(s) associada(s) a essa situação.

---

7) O dono de um carro enche os seus pneus na borracharia.

a) Conseguiria descrever o que acontece durante o enchimento?

---

b) É adequado o carro andar com os pneus murchos ou muito cheios? Por quê?

---

c) Aponte a(s) grandeza(s) física(s) associada(s) a esse cenário.

---

8) Considere duas garrafas térmicas (totalmente isoladas): uma contendo água quente e a outra água fria. Podemos então afirmar que:

a) a água quente contém mais calor do que a fria.

b) a água quente possui maior temperatura do que a fria.

c) as alternativas (a) e (b) estão corretas.

d) nenhuma das alternativas anteriores estão corretas.

Justifique a sua resposta.

---

9) O que é um gás? Ele possui forma própria? Dica: lembre-se do botijão de cozinha.

---

10) Do que é composto o gás, isto é, qual o seu constituinte? Existe alguma semelhança com o da água em fervura (evaporada)? E com o do pedaço de madeira?

APÊNDICE B - ATIVIDADE 2

1. Essa é a equação fundamental dos gases perfeitos P V = n R. T, o que significa cada letra dessa fórmula?

P:

V:

n:

R:

T:

2. Sabemos que os gases estão em toda parte do nosso cotidiano e estudá-los e entender suas grandezas e como reage em cada situação é muito importante, por exemplo, no setor industrial, por exemplo, os gases são utilizados na solda, em na produção de lâmpadas e vidros de paredes duplas. Já na produção de alimentos, os gases podem ser utilizados na conservação de alimentos e vinho, em refrigerantes e muito mais!

Comente abaixo onde você utiliza os gases no seu dia a dia:

3. Calcule a pressão total de uma mistura gasosa formada por 1 mol de um gás A e 4 mol de um gás B, considerando que a temperatura final é de 300 K e o volume é de 10 L.

a) 8,2 atm.

b) 3,28 atm.

c) 4,92 atm.

d) 9,84 atm.

e) 12,3 atm.

4. Um gás ideal está confinado em um recipiente cúbico de volume igual a 0,125 m3. A pressão exercida sobre as paredes do recipiente corresponde a 59.760 pa. Sabendo que a temperatura do gás é de 300 K, determine o número de moléculas contidas no recipiente.

Dado: Considere R = 8,3 (J/mol.K)

a) 1 mol

b) 2 mol

c) 3 mol

d) 4 mol

e) 5 mol

5. O R da equação fundamental dos gases é uma constante universal para os gases ideais que independe de qualquer condição. Desta forma temos a expressão mais genérica, e útil para trabalhar com esse tipo de gás. Essa expressão é conhecida como Equação de Clapeyron, tendo sido formulada por Benoit Paul Émile Clapeyron pela combinação das leis dos gases conhecidas anteriormente como P.V=n.R.T.

( ) Verdadeiro

( ) Falso

6. Podemos fazer algumas afirmações sobre as grandezas fundamentais que envolvem o estudo de um gás perfeito.

I Volume: um gás sempre ocupa todo o volume do recipiente que o contém, logo, o volume de um gás ideal é o mesmo do recipiente.

II Temperatura: como já vimos, a temperatura expressa o grau de agitação das moléculas. Nas expressões que veremos a seguir, a temperatura deverá ser colocada sempre em Kelvin, conhecida como escala absoluta.

III Pressão: a pressão é devido às inúmeras colisões das moléculas do gás com as paredes do recipiente.

( ) Verdadeira

( ) Falsa

APÊNDICE C - ATIVIDADE 3

1. Registre o número de colisões das moléculas com as paredes do ambiente onde o gás está confinado, durante um período de 20 segundos, com o pistão a uma altura fixa no máximo do recipiente. (Código: linha 22, altera o número de moléculas, linha 74 altera velocidade “Temperatura” n_vel 1)

PLANILHA 1

Moléculas: 5 N° de colisões:____	Moléculas: 20 N° de colisões:____	Moléculas: 50 N° de colisões:____	Moléculas: 100 N° de colisões:____

1.1 O que acontece quando aumentamos o número de moléculas?

_____

2. Registre o número de colisões das moléculas com as paredes do ambiente onde o gás está confinado, durante um período de 20 segundos, com o pistão a uma altura fixa no máximo do recipiente. (Código linha 22 altera o número de moléculas, linha 74 altera velocidade “Temperatura” n_vel 5)

PLANILHA 2

Moléculas: 5 N° de colisões:____	Moléculas: 20 N° de colisões:____	Moléculas: 50 N° de colisões:____	Moléculas: 100 N° de colisões:____

3. Registre o número de colisões das moléculas com as paredes do ambiente onde o gás está confinado, durante um período de 20 segundos, com o pistão a uma altura fixa no máximo do recipiente. (Código linha 22 altera número de moléculas, linha 74 altera velocidade “Temperatura” n_vel 10)

PLANILHA 3

Moléculas: 5 N° de colisões:____	Moléculas: 20 N° de colisões:____	Moléculas: 50 N° de colisões:____	Moléculas: 100 N° de colisões:____

3.1. Quando alteramos o código n_vel de 1 para 5 e depois para 10, aumentaram o número de colisões para os respectivos números de moléculas?

( ) sim ( ) não. Justifique:

_____

3.2. Depois das mudanças no código n_vel, houveram alterações visuais no ambiente:

( ) sim ( ) não. Se sim quais:

_____

3.3. Quais grandezas físicas estão envolvidas nestas simulações em 3D (Vpython)?

_____

3.4. O número de colisões está relacionado a qual grandeza física no estudo da lei dos gases ideais? Justifique sua resposta.

_____

3.5. Registre o número de colisões das moléculas com as paredes do ambiente onde o gás está confinado, durante um período de 20 segundos, com o pistão a uma altura fixa, mas agora na metade do recipiente. (Código: linha 22, altera o número de moléculas, linha 62, altera o volume do confinamento, npist 0.0 a 1.0 (0.5) linha 76 altera velocidade "Temperatura" n_vel 5)

PLANILHA 4

Moléculas: 5 N° de colisões:____	Moléculas: 20 N° de colisões:____	Moléculas: 50 N° de colisões:____	Moléculas: 100 N° de colisões:____

3.6. Quando comparamos a planilha 2 com a planilha 4, onde o número de moléculas é respectivo, a velocidade é a mesma, mas o volume do recipiente foi alterado pela metade, o que aconteceu com o número de colisões?

_____

3.7. Registre o número de colisões das moléculas com as paredes do ambiente onde o gás está confinado, durante um período de 20 segundos, com o pistão a uma altura fixa, mas agora, muito próximo da base do recipiente. (Código: linha 22, altera o número de moléculas, linha 62, altera o volume do confinamento, npist 0.0 a 1.0 (0.0) linha 76 altera velocidade "Temperatura" n_vel 5)

PLANILHA 5

Moléculas: 5 N° de colisões:____	Moléculas: 20 N° de colisões:____	Moléculas: 50 N° de colisões:____	Moléculas: 100 N° de colisões:____

3.8. Quando comparamos a planilha 4 com a planilha 5, onde o número de moléculas é respectivo, a velocidade é a mesma, mas o volume do recipiente foi alterado e agora está muito pequeno, o que aconteceu com o número de colisões? Comente:

_____

3.9. A pressão exercida por um gás confinado em um determinado recipiente, depende basicamente de 3 coisas, segundo nossos experimentos. Comente:_____
_____

APÊNDICE D - ATIVIDADE 4

Este guia servirá de apoio para trabalharmos o código do Vpython no Glowscript (on-line) para simular as transformações gasosas e entender os processos de expansão e compressão de um gás confinado em um cilindro preso por um pistão, ora fixo, ora móvel.
https://www.glowscript.org/#/user/kleuber.produtoeducacional/folder/AmbienteFinal.py/program/AmbienteFinalexpans%C3%A3o.py

- Para simular as transformações isobárica, isotérmica ou isovolumétrica é só seguir o guia na linha 65 do código acima e alterar o npt = para 1, 2 ou 3. Para acionar os movimentos de expansão e compressão do simulador é só seguir as orientações na linha 68, nsi = 0 ou 1.

Entrar na página do Glowscript (on-line).

Fazer login.

Login: kleuber.produtoeducacional@gmail.com

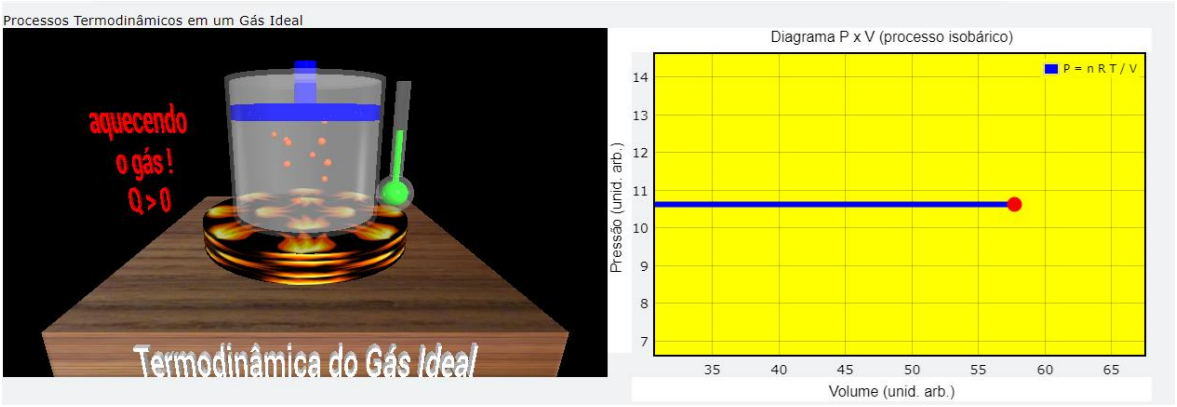
Senha: ########

Já na página, entrar na pasta AmbienteFinal.py em seguida pedir para editar o código PE.py e na linha 65 colocar o número 1 (podendo ser 1, 2 ou 3) e na linha 68 colocar o número 1 (podendo ser 0 ou 1) e em seguida pedir para executar (Run).

npt = 1 ## npt -> seleciona processo termodinâmico:

nsi = 1 # define as seguintes situações do gás: nsi = (compressão) e (expansão)

SIMULAÇÃO: npt = 1 nsi = 1



1. Qual transformação gasosa está acontecendo nesta simulação? ( ) isotérmica,

( ) isobárica

( ) isovolumétrica. Por que você chegou a essa conclusão?

_____

_____

1.1. Quais foram as grandezas físicas que tiveram alterações nesta simulação?

_____

1.2 No diagrama ao lado da simulação, qual grandeza permaneceu o tempo todo constante?

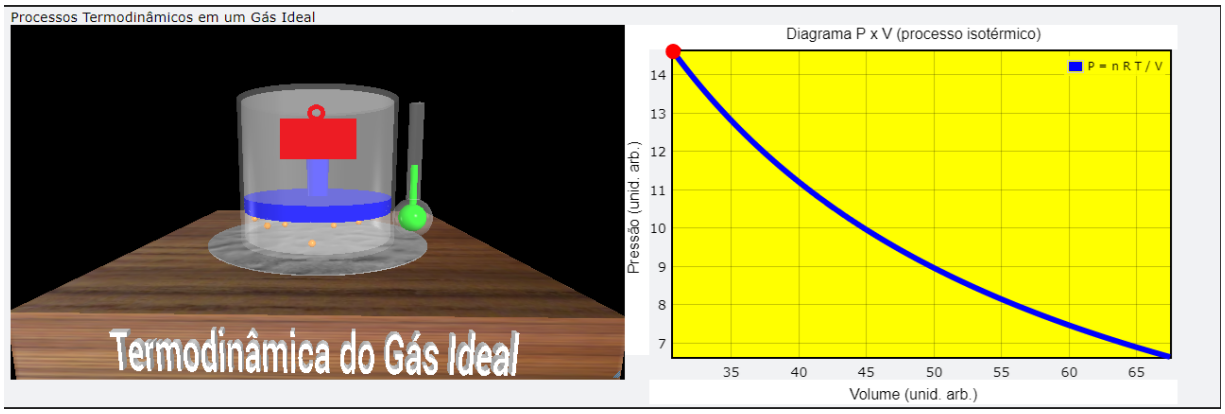
_____

1.3 Esse processo é uma compressão ou expansão do gás?

_____

2. No mesmo código PE1.py altere na linha 65 npt = 2 e na linha 68 nsi = 0. Imagine que o pistão está em um processo de compressão devido um peso que o empurra para baixo. (acompanhe a simulação correta na projeção da lousa)

SIMULAÇÃO:



2.1. Qual transformação gasosa está acontecendo nesta simulação? ( ) isotérmica, ( ) isobárica ( ) isovolumétrica.

Por que você chegou a essa conclusão?

_____

2.2. Quais foram as grandezas físicas associadas as leis dos gases, que tiveram alterações nesta simulação?

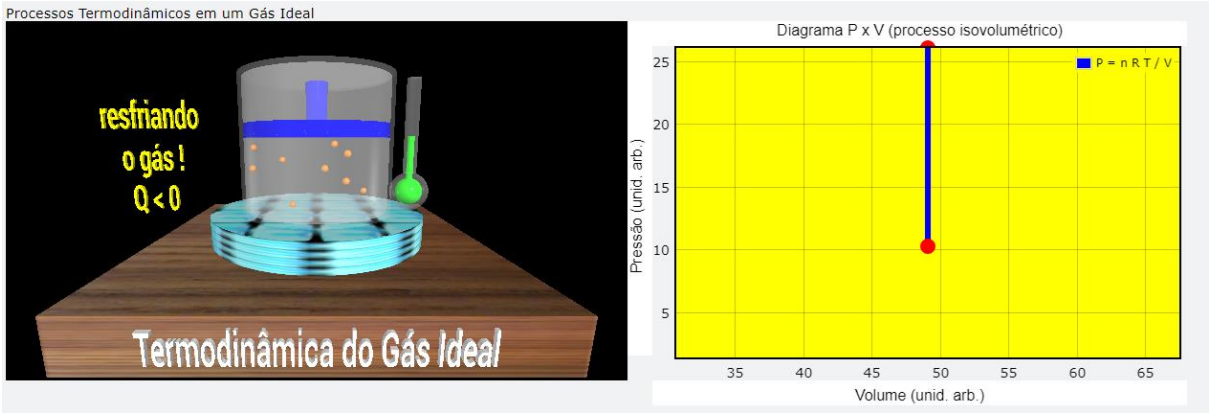
_____

2.3. No diagrama ao lado da simulação, qual grandeza permaneceu o tempo todo constante?

_____

3. No mesmo código PE2.py altere na linha 65 npt = 3 e na linha 68 nsi = 0.

SIMULAÇÃO:



3.1. Qual transformação gasosa está acontecendo nesta simulação? ( ) isotérmica, ( ) isobárica ( ) isovolumétrica.

Por que você chegou a essa conclusão?

_____

3.2. Quais foram as grandezas físicas que tiveram alterações nesta simulação?

_____

3.3. No diagrama ao lado da simulação, qual grandeza permaneceu o tempo todo constante?

_____

3.4. Esse processo é uma compressão ou expansão do gás?

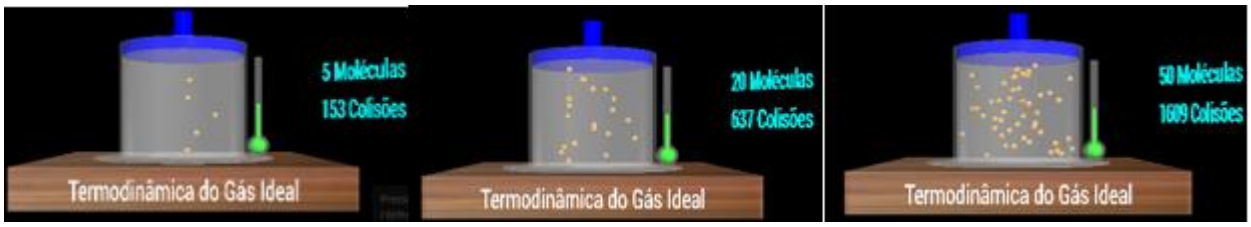
_____

3.5 Dois vídeos sobre motores a combustão (gás em um cilindro) e uma discussão sobre a semelhança do nosso simulador com essas máquinas, que realizam a maioria dos serviços do nosso cotidiano. https://www.youtube.com/shorts/kgUDziDXG7U https://www.youtube.com/shorts/cYmCuT5gBwo

APÊNDICE E - ATIVIDADE 5

PÓS-TESTE

1. Registre o número de colisões das moléculas com as paredes do ambiente onde o gás está confinado, durante um período de 20 segundos, com o pistão a uma altura fixa no máximo do recipiente. (Código: linha 22, altera o número de moléculas, linha 74 altera velocidade “Temperatura” n_vel 5)



PLANILHA 1

Moléculas: 5 N° de colisões: 153	Moléculas: 20 N° de colisões: 637	Moléculas: 50 N° de colisões: 1609

1.1. O que acontece quando aumentamos o número de moléculas?

_____

_____

1.2. Essas colisões estão associadas a qual grandeza física, em relação ao estudo dos gases?

_____

2. Descreva o que acontece com a pressão, volume e temperatura de um gás confinado em um cilindro quando ele sofre uma expansão isotérmica.

_____

3. Segundo nossas simulações no Glowscript (Vpython) a pressão exercida por um gás confinado em um determinado recipiente, depende basicamente de 3 coisas, de acordo com nossos experimentos. Comente:

_____

4. Quando fizemos essa simulação no Vpython, percebemos que o peso em vermelho é o responsável pela compressão do gás.

4.1. Qual transformação gasosa está acontecendo nesta simulação? ( ) isotérmica, ( ) isobárica, ( ) isovolumétrica.

4.2. Por que você chegou a essa conclusão?

_____

4.3. Quais foram as grandezas físicas associadas as leis dos gases, que tiveram alterações nesta simulação?

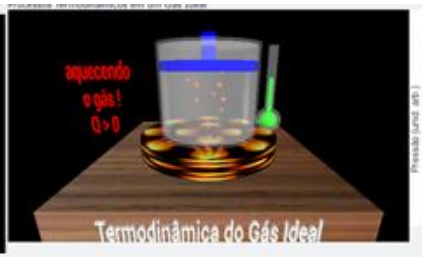
_____

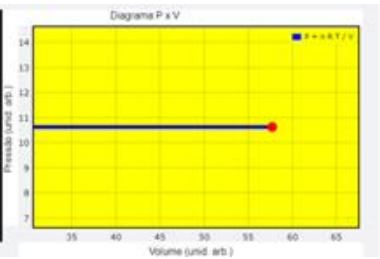
5. Explique por que a eficiência de uma máquina térmica nunca pode ser 100%.

_____

6. SIMULAÇÃO: Glowscript – Vpython.

Parte I Parte II





6.1. Qual transformação gasosa está acontecendo nesta simulação?

( ) isotérmica, ( ) isobárica( ) isovolumétrica.

Por que você chegou a essa conclusão?

_____

6.2. Quais foram as grandezas físicas que tiveram alterações nesta simulação?

_____

6.3. No diagrama ao lado da simulação, qual grandeza permaneceu o tempo todo constante?

_____

6.4. Esse processo é uma compressão ou expansão do gás?

_____

7.Comente um pouco sobre o simulador (Vpython) que usamos nas nossas aulas:

_____

_____

8. Durante a aplicação de produto educacional vivenciamos vários momentos, cuja finalidade é promover um ambiente investigativo com o discente participando ativamente no processo de aprendizagem, estimular a curiosidade e a motivação do estudante. Em sua opinião esse objetivo foi alcançado?

( ) sim ( ) não.

Justifique sua resposta.

_____

_____

APÊNDICE F - GUIA PARA ACESSO E EXECUÇÃO DOS CÓDIGOS

Acessar o código compartilhado de forma direta

Você pode abrir diretamente o código que eu criei com o link abaixo:

👉 Link para o código:

Código 1

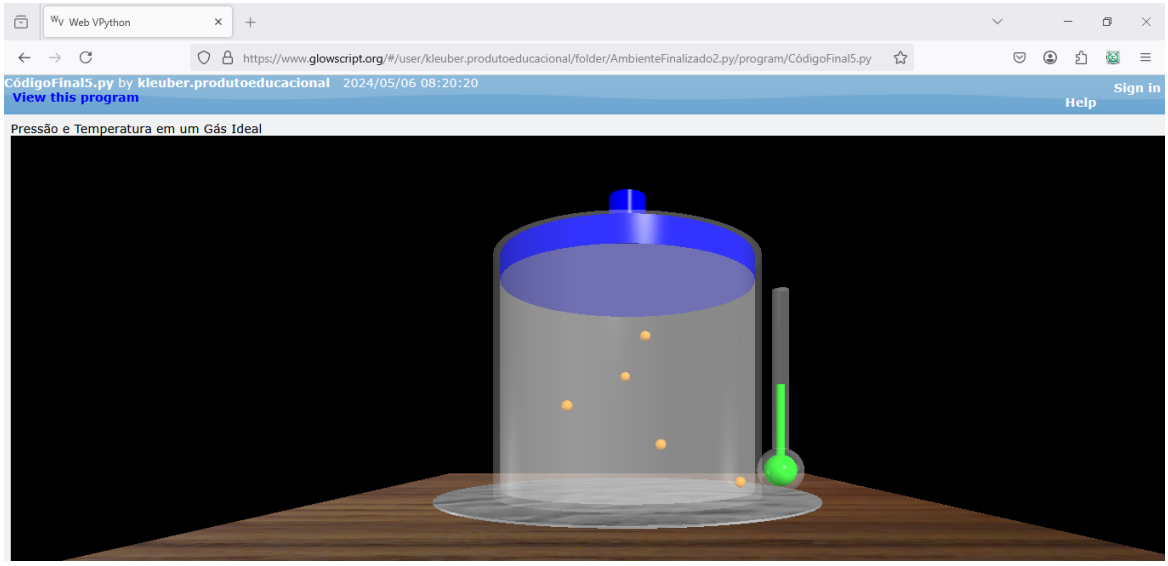
https://www.glowscript.org/#/user/kleuber.produtoeducacional/folder/AmbienteFinalizado2.py/program/C%C3%B3digoFinal5.py

(Esse código contabiliza, depois de 20 segundos, o número de colisões das partículas com as paredes do recipiente, no qual pode ser alterado temperatura, volume e número de partículas)

Este guia servirá de apoio para trabalhar o código do VPython no Glowscript (on-line) para simular o número de colisões das moléculas com as paredes do recipiente.

Passo 1: Abrir um navegador de sua preferência.

Passo 2: Copiar e colar o código no navegador e pedir para executar, em seguida a simulação iniciará.



Passo 3: Para qualquer alteração no código, clique em “View this program”, onde aparecerá a programação em Python e permitirá fazer ajustes no código.

Alterar número de moléculas: Linha 22 – Nmol = 5 (esse valor pode ser ajustado para o de sua preferência), em seguida clique em Run this program, pra executar novamente.

Alterar a temperatura: Linha 76 – n_vel, pode variar de 1, temperatura – mínima, até 10 que é temperatura máxima.

Alterar volume: Linha 62 npist, pode variar de 0.0 - volume mínimo, até 1.0 que é o volume máximo.

Caso tenha dificuldade em alterar alguma variável do código, sugiro que se cadastre no glowscript.org. Usando apenas um e-mail.

Guia para Acessar um Código no GlowScript

O que é o GlowScript?

O **GlowScript** é uma plataforma online onde podemos programar simulações em 3D usando a linguagem **VPython**. Ele roda direto no navegador, sem precisar instalar nada!

Acesso pela internet

Passo 1: Abrir um navegador

Você pode usar qualquer navegador (Chrome, Firefox, Edge, etc.).

Passo 2: Entrar no site do GlowScript

Digite este endereço na barra de endereços do navegador:

```arduino
https://www.glowscript.org
```

Ou clique aqui: https://www.glowscript.org

Depois de logado pode fazer o download do código e personalizar, fazendo as mudanças de sua preferência.

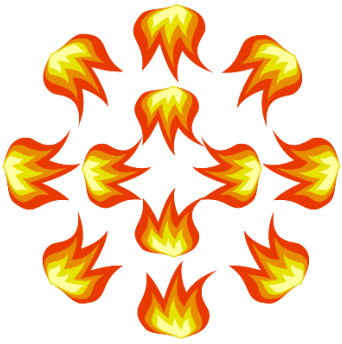
Código 2

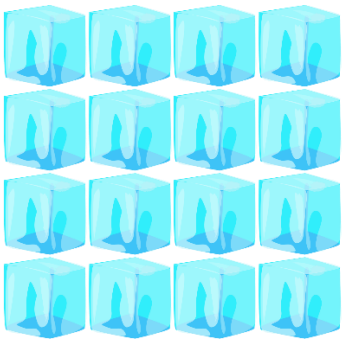
(Esse código simula as principais transformações gasosas: isobárica, isotérmica e isocórica, com um diagrama ao lado do ambiente sempre mantendo uma das grandezas constantes)

https://www.glowscript.org/#/user/kleuber.produtoeducacional/folder/AmbienteFinal.py/program/PE.PY

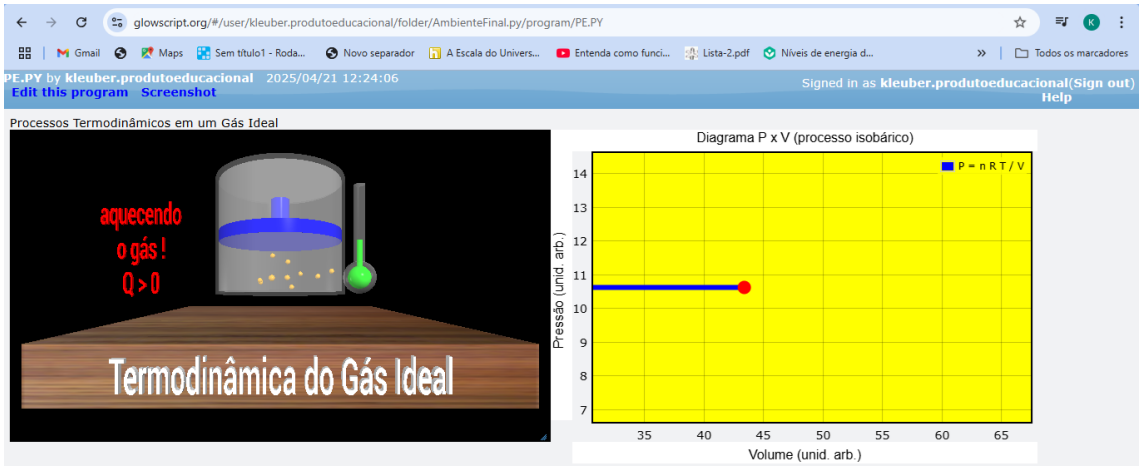
Passo 1: Abrir um navegador de sua preferência:

Passo 2: Copiar e colar o código no navegador e pedir para executar, em seguida a simulação se iniciará, porém para ter acesso a todas as funções disponíveis na simulação, sugiro que baixe em uma pasta de download as imagens a seguir:





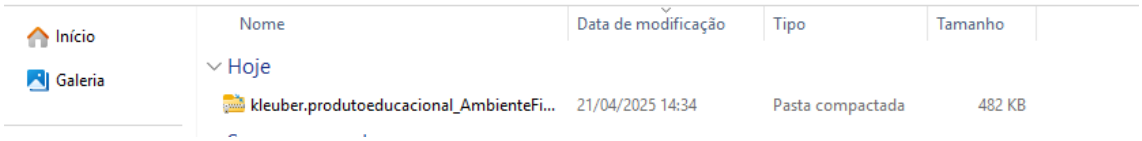
Faça o Download do código para rodar on-line, na mesma pasta das figuras acima.



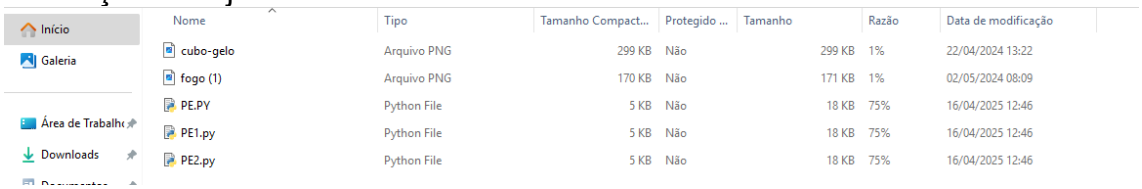
Passo 3: Clicar em Run this program

Passo 4: Download

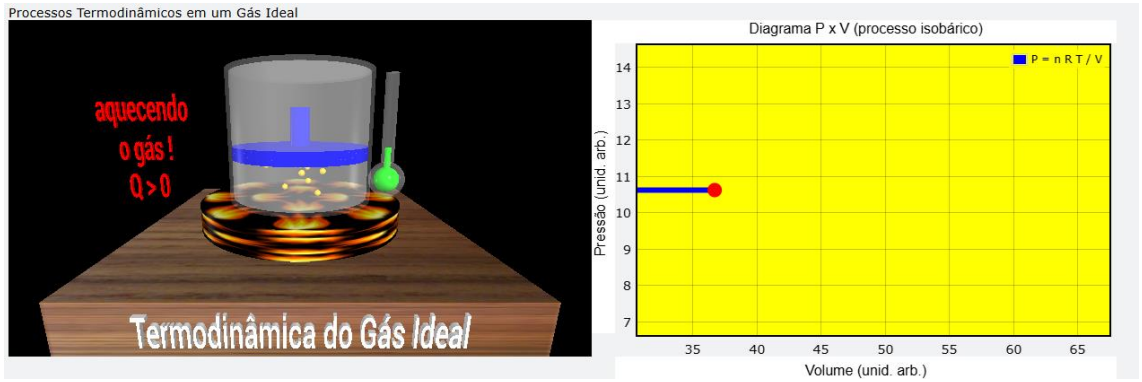
Passo 5: Abrir a pasta



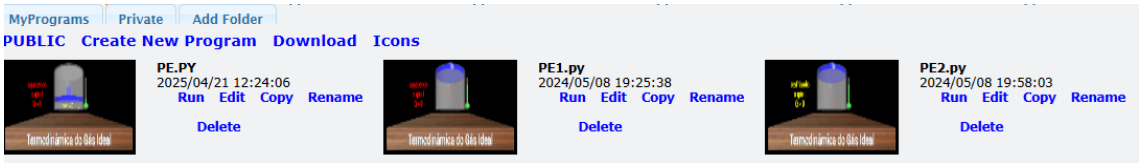
Passo 6: As figuras de fogo e gelo já estão dentro da pasta agora é só abrir e executar a simulação desejada.



Simulação: O aquecimento de um gás ideal.



Para fazer as alterações na programação: Logado na sua conta, clicar em Edit no código desejado.



Linha 65: npt = 1 ## npt -> seleciona processo termodinâmico:

npt = 1 (isobárico), npt = 2 (isotérmico), npt = 3 (isovolumétrico), npt = 4 (adiabático)

Linha 68: nsi = 1 # define as seguintes situações do gás: nsi = 0 (compressão), nsi = 1 (expansão)

APÊNDICE G - CÓDIGOS DO PRODUTO EDUCACIONAL

(Esse código contabiliza depois de 20 segundos o número de colisões das partículas com as paredes do recipiente, no qual pode ser alterado, temperatura, volume e número de partículas)

https://www.glowscript.org/#/user/kleuber.produtoeducacional/folder/AmbienteFinalizado2.py/program/C%C3%B3digoFinal5.py

Código 1

```
Web VPython 3.2

# coding: iso-8859-1 from vpython import * ##import math ##import time
#######################################################################
############## ############################################
################################### SIMULAÇÃO DOS PROCESSOS TERMODINÂMICOS EM UM GÁS IDEAL ###################################
##############################################################################
####### ############################################
tela = canvas(title = “Pressão e Temperatura em um Gás Ideal”, width = 1450, height = 700,
x = 0, y = 0, align = 'left', background = color.black) # personaliza a tela da simulação
tela.range = 0.062 * tela.width + 0.097 * tela.height ; tela.ambient = vector(0.4, 0.4, 0.4) # zoom e iluminação do ambiente

# tela.forward = vector (0.0, 0.0, -1.0) # posição do observador no sistema
Nmol = 100 # número total de moléculas no gás (ou de átomos se for monoatômico) ##colors = [color.red, color.green, color.blue, color.yellow, color.cyan, color.magenta] molecula = []
rmol = 0.002 * tela.width  # raio da molécula do gás

prop = 0.95 # proporção dos raios e das alturas do recipiente cilíndrico (0 < prop < 1)
alt_ext = 0.083 * tela.width; alt_int = prop * alt_ext # alturas externa e interna do recipiente cilíndrico
############################### DEFINDO OS OBJETOS CONSTITUINTES DO CENÁRIO DA SIMULAÇÃO ################################
```

```
        base = box(pos = vector(0.0, - 0.035 * tela.width, 0.0), length = tela.width / 5, height
= 0.025 * tela.width,
        width = tela.width / 5, color = color.white, texture = textures.wood) # base do sistema
        físico


        título = text (pos = vector (base.pos.x, base.pos.y - base.height / 4, base.pos.z +
base.width / 2), text = 'Termodinâmica do Gás Ideal',
        align = 'center', color = color.white)


        titulo.height = 0.025 * tela.height; titulo.length = 0.13 * tela.width; titulo.depth = 0.002
* tela.width hfo = alt_ext / 5; pfo = base.pos.y + base.height / 1.9 - hfo
        fonte_term = cylinder(pos = vector(0.0, pfo, 0.0), axis = vector(0.0, hfo, 0.0),
        radius = tela.width / 15, color = color.white, texture = textures.rough) # fonte térmica
do gás


        recip_ext = cylinder(pos = vector(0.0, fonte_term.pos.y + fonte_term.axis.y, 0.0), axis
= vector(0.0, alt_ext, 0.0),
radius = tela.width / 21, color = color.white, opacity = 0.2) # define a espessura do
recipiente dilata com a temperatura.
recip_int = cylinder(pos = vector(0.0, fonte_term.pos.y + fonte_term.axis.y + (alt_ext -
alt_int)
        / 2, 0.0),
        axis = vector (0.0, alt_int, 0.0), radius = prop * recip_ext.radius, color = color.white,
opacity = 0.3) # recipiente cilíndrico
        ##################


        hmin = 8 * rmol # altura mínima do pistão tendo como unidade o raio das moléculas
        ppmin = recip_int.pos.y + hmin; ppmax = recip_ext.pos.y - alt_ext + 2 * alt_int  #
posições mínima e máxima do pistão (fixo ou móvel)
        pos_alt_pistao = ppmax # posição do pistão: limites -> ppmin <= pos_alt_pistao <=
ppmax pistao = cylinder(pos = vector(0.0, pos_alt_pistao, 0.0),
        axis = vector(0.0, 2 * (alt_ext - alt_int), 0.0), radius = recip_int.radius, color =
        color.blue)
        embolo = cylinder(pos = vector(0.0, pistao.pos.y + pistao.axis.y, 0.0), axis = vector(0.0,
3 * pistao.axis.y, 0.0),
```

```
radius = 0.15 * pistao.radius, color = color.blue)
################################## PARÂMETROS DE CONTROLE DA TEMPERATURA/VELOCIDADE ##################################
n_vmin = 1.0; n_vmax = 10.0


n_vel = 1.0 # regula a intensidade da velocidade: limites -> n_vmin <= n_vel <= n_vmax
############################################## DEFININDO O TERMÔMETRO ##############################################
r_bu = tela.width / 120.0 # raio do bulbo r_li = 0.7 * r_bu # raio do líquido no bulbo
hcmin = 0.2 * recip_ext.axis.y; hcmax = 0.6 * recip_ext.axis.y # limites das alturas da coluna do termômetro
bulbo = sphere(pos = vector(recip_ext.pos.x + recip_ext.radius + r_bu, recip_ext.pos.y + r_bu, recip_int.pos.z),
radius = r_bu, opacity = 0.3) # o bulbo que concentra o líquido
liq_bulb = sphere(pos = bulbo.pos, radius = r_li, color = color.green) # líquido no bulbo que dilata com a temperatura.
coluna = cylinder(pos = vector(bulbo.pos.x, bulbo.pos.y + 0.96 * bulbo.radius, bulbo.pos.z), axis = vector(0.0, 0.7 * recip_ext.axis.y, 0.0),
radius = 0.5 * liq_bulb.radius, opacity = 0.3) # coluna de vidro que concentra o
líquido
alt_liq = hcmax + (n_vmax - n_vel) * (hcmin - hcmax) / (n_vmax - n_vmin) # altura da coluna do termômetro
liq_col = cylinder(pos = bulbo.pos, axis = vector(0.0, alt_liq, 0.0), radius = 0.5 * coluna.radius, color = color.green) # líquido na coluna


########################## DEFININDO Nmol MOLÉCULAS DO GÁS, SUAS POSIÇÕES E VELOCIDADES INICIAIS ##########################
dt = 0.01 # incremento do tempo


fator = 16 # amplificação da velocidade
vres = n_vel * fator # velocidade quadrática resultante
cor_moly = (n_vmax - n_vel) / (n_vmax - n_vmin) # define a cor (temperatura) das moléculas for n in range(Nmol):
```

```
phi = 2 * n * pi / Nmol

ymin = recip_int.pos.y + rmol; ymax = pistao.pos.y - rmol ypos = ymin + n * (ymax - ymin) / Nmol
molecula.append(sphere(pos = vector((recip_int.radius - rmol) * cos(phi) * random(), ypos, (recip_int.radius - rmol) * sin(phi)
* random()), radius = rmol, color = vector(1.0, cor_moly, 0.0))) #
molécula do gás
##      vx2 = vy2 = vz2 = 0.0
vx2 = (-1.0)**n * vres * 0.5; vy2 = (-1.0)**(n+1) * vres; vz2 = vy2 # média das componentes (quadráticas) da velocidade

##      vx2 = vres; vy2 = vres; vz2 = vy2 # média das componentes (quadráticas) da velocidade
##      vx2 = (-1.0)**n * vres; vy2 = (-1.0)**(n+1) * vx2; vz2 = vx2 # componentes quadráticas da velocidade (valores iguais: não há direção privilegiada)
molecula[n].vel = vector(vx2, vy2, vz2) # velocidade (quadrática) média das moléculas ##print(mag(molecula[n].vel))
########################################################################
############ ########################################
sleep(5.0) ## pausa 5 segundos no instante inicial
t = 0.0 # cronômetro zerado
cont = 0 # contagem das colisões das moléculas com as paredes do recipiente ##while True:
while (t <= 20.0): # a simulação é interrompida após 20 segundos

rate(100)
for i in range(Nmol): # define o movimento das moléculas confinadas no recipiente fechado
vxz = sqrt(molecula[i].vel.x * molecula[i].vel.x + molecula[i].vel.z * molecula[i].vel.z) # componente das velocidades no plano xz

####### o segundo termo corresponde a correção do ângulo phi para o movimento nos 2o. e 3o. quadrantes no plano xz
```

```
        phi = atan(molecula[i].pos.z / molecula[i].pos.x) + pi * (1 - int(abs(molecula[i].pos.x) /
molecula[i].pos.x)) / 2
        alpha = acos(round((molecula[i].vel.x * cos(phi) + molecula[i].vel.z * sin(phi)) / vxz, 6))
##          print(180 * alpha / pi)
        if (sqrt(molecula[i].pos.x * molecula[i].pos.x + molecula[i].pos.z * molecula[i].pos.z) >=
recip_int.radius - molecula[i].radius):
        molecula[i].vel.x = - vxz * cos(alpha - phi) # promove a reflexão das moléculas no
plano xz ao colidirem elasticamente
        molecula[i].vel.z = vxz * sin(alpha - phi)  # com a parede cilíndrica cont += 1
        if (molecula[i].pos.y > pistao.pos.y - molecula[i].radius): molecula[i].pos.y =
pistao.pos.y - molecula[i].radius
        molecula[i].vel.y = - molecula[i].vel.y # reflexão das moléculas na direção y ao
colidirem elasticamente com o pistão


        cont += 1
        if (molecula[i].pos.y < recip_int.pos.y + molecula[i].radius): molecula[i].pos.y =
recip_int.pos.y + molecula[i].radius
        molecula[i].vel.y = - molecula[i].vel.y # reflexão das moléculas na direção y ao
colidirem elasticamente com
        # o fundo do recipiente


        cont += 1
        ##      print(mag(molecula[i].vel))

        ##      print(molecula[i].vel.x)
        molecula[i].pos += molecula[i].vel * dt # atualiza a posição das moléculas t = t + dt #
incrementa o tempo
        Nmolec = text(pos = vector(recip_ext.pos.x + 2.2 * recip_ext.radius, 50.0, 0.0), axis =
vector(0.4, 0.0, 0.25),
        text = str(Nmol) + ' Moléculas', color = color.cyan) # escreve o total de moléculas do
        gás
        Nmolec.height = 0.03 * tela.height; Nmolec.length = 4 * Nmolec.height; Nmolec.depth
= 0.25 * Nmolec.height
```

contagem = text(pos = vector(Nmolec.pos.x, 10.0, Nmolec.pos.z), axis = Nmolec.axis, text = str(cont) + ' Colisões', color = color.cyan) # escreve o total de colisões

contagem.height = Nmolec.height; contagem.length = Nmolec.length; contagem.depth = Nmolec.depth

Código 2

(Esse código simula as principais transformações gasosas, isobárica, isotérmica e isocórica com um diagrama ao lado do ambiente sempre mantendo uma das grandezas constantes)

https://www.glowscript.org/#/user/kleuber.produtoeducacional/folder/AmbienteFinal.py/program/PE.PY

Web VPython 3.2

from vpython import * #Web VPython 3.2

coding: iso-8859-1 from vpython import * ##import math ##import time

##

################################## SIMULAÇÃO DOS PROCESSOS TERMODINÂMICOS EM UM GÁS IDEAL ##

tela = canvas(title = “Processos Termodinâmicos em um Gás Ideal”, width = 650, height = 375,

x = 0, y = 0, align = 'left', background = color.black) # personaliza a tela da simulação

tela.range = 0.062 * tela.width + 0.097 * tela.height ; tela.ambient = vector(0.4, 0.4, 0.4) # zoom e iluminação do ambiente

tela.forward = vector(0.0, 0.0, -1.0) # posição do observador no sistema

Nmol = 10 # número total de moléculas no gás (ou de átomos se for monoatômico) ##colors = [color.red, color.green, color.blue, color.yellow, color.cyan, color.magenta] molecula = []

rmol = 0.002 * tela.width # raio da molécula do gás

prop = 0.95 # proporção dos raios e das alturas do recipiente cilíndrico (0 < prop < 1)

alt_ext = 0.083 * tela.width; alt_int = prop * alt_ext # alturas externa e interna do recipiente cilíndrico

Ninc = 3000 # total de incremantações (passos) utilizada para variação dos parâmetros do simulador

############################## DEFININDO OS OBJETOS CONSTITUINTES DO CENÁRIO DA SIMULAÇÃO ##############################

base = box(pos = vector(0.0, - 0.035 * tela.width, 0.0), length = tela.width / 5, height = 0.025 * tela.width,

width = tela.width / 5, color = color.white, texture = textures.wood) # base do sistema físico

titulo = text(pos = vector(base.pos.x, base.pos.y - base.height / 4, base.pos.z + base.width / 2), text = 'Termodinâmica do Gás Ideal',

align = 'center', color = color.white)

titulo.height = 0.025 * tela.height; titulo.length = 0.13 * tela.width; titulo.depth = 0.002 * tela.width

hfo = alt_ext / 5; pfmin = base.pos.y + base.height / 1.9 - hfo; pfmax = base.pos.y + base.height / 2

vfo = 7.0 # velocidade de recolhimento da fonte térmica

fonte_term = cylinder(pos = vector(0.0, pfmax, 0.0), axis = vector(0.0, hfo, 0.0), radius = tela.width / 15, color = color.white) # fonte térmica do gás

recip_ext = cylinder(pos = vector(0.0, fonte_term.pos.y + fonte_term.axis.y, 0.0), axis = vector(0.0, alt_ext, 0.0),

radius = tela.width / 21, color = color.white, opacity = 0.2) # define a espessura do recipiente

recip_int = cylinder(pos = vector(0.0, fonte_term.pos.y + fonte_term.axis.y + (alt_ext - alt_int) / 2, 0.0), axis = vector(0.0, alt_int, 0.0), radius = prop * recip_ext.radius, color = color.white, opacity = 0.3) # recipiente cilíndrico

################## PARÂMETROS QUE PERMITEM ESCOLHER O PROCESSO TERMODINÂMICO SIMULADO

npt = 1 ## npt -> seleciona processo termodinâmico:

```
## npt = 1 (isobárico), npt = 2 (isotérmico), npt = 3 (isovolumétrico), npt = 4 (adiabático) nsi = 1 # define as seguintes situações do gás: nsi = 0 (compressão), nsi = 1 (expansão) #################
if (nsi == 0):
## fonte_term.color = vector(0.48, 0.67, 0.83) fonte_term.texture = 'cubo-gelo.png'
aviso = text(pos = vector(recip_ext.pos.x - 2.2 * recip_ext.radius, recip_ext.axis.y / 1.8, 0.0), text = 'resfriando \no gás ! \nQ < 0',
visible = True, align = 'center', color = color.yellow)
else:
## fonte_term.color = color.red fonte_term.texture = 'fogo.png'
aviso = text(pos = vector(recip_ext.pos.x - 2.2 * recip_ext.radius, recip_ext.axis.y / 1.8, 0.0), text = 'aquecendo \no gás ! \nQ > 0',
visible = True, align = 'center', color = color.red)
##titulo = text(pos = vector(4.0, recip_ext.pos.y + recip_ext.axis.y + 0.01 * tela.width, 0.0), text
= 'Gás' + ' ' * 5 + 'Ideal',
## align = 'center', color = color.green)

aviso.height = 0.03 * tela.height; aviso.length = 0.06 * tela.width; aviso.depth = 0.002 * tela.width

hmin = 8 * rmol # altura mínima do pistão tendo como unidade o raio das moléculas
ppmin = recip_int.pos.y + hmin; ppmax = recip_ext.pos.y - alt_ext + 2 * alt_int # posições mínima e máxima do pistão (fixo ou móvel)

pistao = cylinder(pos = vector(0.0, (nsi * ppmin + (1 - nsi) * ppmax), 0.0),
axis = vector(0.0, 2 * (alt_ext - alt_int), 0.0), radius = recip_int.radius, color = color.blue)

embolo = cylinder(pos = vector(0.0, pistao.pos.y + pistao.axis.y, 0.0), axis = vector(0.0, 3 * pistao.axis.y, 0.0),
radius = 0.15 * pistao.radius, color = color.blue)
dp = (ppmax - ppmin) / Ninc
################################################ DEFININDO O TERMÔMETRO ################################################
```

```
r_bu = 8.0 # raio do bulbo
r_li = 0.7 * r_bu # raio do líquido no bulbo

hcmin = 0.2 * recip_ext.axis.y; hcmax = 0.6 * recip_ext.axis.y # alturas mínima e máxima da coluna do termômetro

bulbo = sphere(pos = vector(recip_ext.pos.x + recip_ext.radius + r_bu, recip_ext.pos.y + r_bu, recip_int.pos.z),
radius = r_bu, opacity = 0.3) # o bulbo que concentra o líquido

liq_bulb = sphere(pos = bulbo.pos, radius = r_li, color = color.green) # líquido no bulbo que dilata com a temperatura

coluna = cylinder(pos = vector(bulbo.pos.x, bulbo.pos.y + 0.96 * bulbo.radius, bulbo.pos.z), axis = vector(0.0, 0.7 * recip_ext.axis.y, 0.0),
radius = 0.5 * liq_bulb.radius, opacity = 0.3) # coluna de vidro que concentra o
líquido
liq_col = cylinder(pos = bulbo.pos, axis = vector(0.0, nsi * hcmin + (1 - nsi) * hcmax, 0.0), radius = 0.5 * coluna.radius,
color = color.green) # líquido na coluna dh = (hcmax - hcmin) / Ninc
######################### DEFININDO Nmol MOLÉCULAS DO GÁS, SUAS POSIÇÕES E VELOCIDADES INICIAIS ########################

dt = 0.01 # incremento do tempo
dv = 130 / Ninc # incremento da velocidade (promove a variação da energia cinética molecular)
## dv = 130 / Ninc -> a melhor variação!! fator = 16 # fator de ampliação da velocidade
vmin = 0.6 * fator; vmax = 5.0 * fator # valores limites da velocidade das moléculas vres = nsi * vmin + (1 - nsi) * vmax # velocidade quadrática resultante
cor_moly = 1.0 * nsi
dv_t = (vmax - vmin) / Ninc
xmin_l = nsi * pistao.pos.y + (1 - nsi) * ppmin; xmax_l = (1 - nsi) * pistao.pos.y + nsi * ppmax ymin_l = Nmol * vmin / (xmax_l - base.pos.y); ymax_l = Nmol * vmax / (xmin_l - base.pos.y) ##ymin_l = 20.0; ymax_l = 50.0
if (npt == 1):
```

```
        ymin_l = Nmol * (vmin + vmax) / (xmax_l - base.pos.y) / 2.0; ymax_l = Nmol * (vmin +
vmax)
        / (xmin_l - base.pos.y) / 2.0
        legenda = 'Diagrama P x V (processo isobárico)' if(npt == 2):
        vres = (vmin + vmax) / 2.0 dv = 0.0
        cor_moly = 0.5
        liq_col.axis.y = (hcmin + hcmax) / 2.0
        ymin_l = Nmol * (vmin + vmax) / (xmax_l - base.pos.y) / 2.0; ymax_l = Nmol * (vmin +
vmax)
        / (xmin_l - base.pos.y) / 2.0
        legenda = 'Diagrama P x V (processo isotérmico)' if(npt == 3):
        pistao.pos.y = (ppmin + ppmax) / 2.0 embolo.pos.y = pistao.pos.y + pistao.axis.y
        legenda = 'Diagrama P x V (processo isovolumétrico)' for n in range(Nmol):
        phi = 2 * n * pi / Nmol
        ymin = recip_int.pos.y + rmol; ymax = pistao.pos.y - rmol ypos = ymin + n * (ymax - ymin)
/ Nmol
        ##      rpos = (n + 1) * (recip_int.radius - rmol) / Nmol ## ypos = (ymin + ymax) / 2
        ##      molecula.append(sphere(pos = vector(rpos * cos(phi) * random(), ypos, rpos * sin(phi)
* random()), radius = rmol,
        ##      color = vector(1.0, 1.0 * nsi, 0.0))) # molécula do gás
        molecula.append(sphere(pos = vector((recip_int.radius - rmol) * cos(phi) * random(), ypos,
(recip_int.radius - rmol) * sin(phi)
        * random()), radius = rmol, color = vector(1.0, cor_moly, 0.0))) #
        molécula do gás
        ## color = colors[n % 6] torna as moléculas com cores diferentes!!
        vx2 = (-1.0)**n * vres * 0.5; vy2 = (-1.0)**(n+1) * vres; vz2 = vy2 # média das componentes
(quadráticas) da velocidade

        ##      vx2 = vres; vy2 = vres; vz2 = vy2 # média das componentes (quadráticas) da
velocidade
        ##      vx2 = (-1.0)**n * vres; vy2 = (-1.0)**(n+1) * vx2; vz2 = vx2 # componentes
quadráticas da velocidade (valores iguais: não há direção privilegiada)
        molecula[n].vel = vector(vx2, vy2, vz2) # velocidade (quadrática) média das moléculas ##
        print(mag(molecula[n].vel))
```

```
##############################################################################
##### ########################################
grafico = graph(width = 0.9 * tela.width , height = 1.0 * tela.height, title = legenda, foreground = color.black, background = color.yellow,
xtitle = “Volume (unid. arb.)”, ytitle = “Pressão (unid. arb.)”, scroll = True, align = 'left',
xmin = xmin_l - base.pos.y, xmax = xmax_l - base.pos.y, ymin = ymin_l, ymax = ymax_l)

pres_vol = gcurve(graph = grafico, width = 6, color = color.blue, dot = True, dot_color = color.red, label = “P = n R T / V”)

##############################################################################
##### ########################################

sleep(5.0) ## pausa 5 segundos no instante inicial npas = 0
while True: rate(100)
for i in range(Nmol): # define o movimento das moléculas confinadas no recipiente fechado

## veloc = sqrt(molecula[i].vel.x * molecula[i].vel.x + molecula[i].vel.y * molecula[i].vel.y + ## molecula[i].vel.z * molecula[i].vel.z)
vxz = sqrt(molecula[i].vel.x * molecula[i].vel.x + molecula[i].vel.z * molecula[i].vel.z) # componente das velocidades no plano xz

## theta = acos(molecula[i].vel.y / veloc)
## theta = acos(molecula[i].pos.y / sqrt(molecula[i].pos.x * molecula[i].pos.x + molecula[i].pos.y * molecula[i].pos.y +
## molecula[i].pos.z * molecula[i].pos.z))
## theta = atan(sqrt(molecula[i].pos.x * molecula[i].pos.x + molecula[i].pos.z * molecula[i].pos.z) / molecula[i].pos.y)
theta = atan(vxz / molecula[i].vel.y)
####### o segundo termo corresponde a correção do ângulo phi para o movimento nos 2o. e 3o. quadrantes no plano xz

phi = atan(molecula[i].pos.z / molecula[i].pos.x) + pi * (1 - int(abs(molecula[i].pos.x) / molecula[i].pos.x)) / 2
```

```
alpha = acos(round((molecula[i].vel.x * cos(phi) + molecula[i].vel.z * sin(phi)) / vxz, 6)) ##
alpha = atan(molecula[i].vel.z / molecula[i].vel.x) - phi # não está funcionando.
VERIFICAR!!

##      print(180 * alpha / pi)
if (sqrt(molecula[i].pos.x * molecula[i].pos.x + molecula[i].pos.z * molecula[i].pos.z) >= recip_int.radius - molecula[i].radius):

molecula[i].vel.x = - vxz * cos(alpha - phi) # promove a reflexão das moléculas no plano xz ao colidirem elasticamente com a parede cilíndrica
molecula[i].vel.z = vxz * sin(alpha - phi)
if (molecula[i].pos.y > pistao.pos.y - molecula[i].radius): molecula[i].pos.y = pistao.pos.y - molecula[i].radius
molecula[i].vel.y = - molecula[i].vel.y # reflexão das moléculas na direção y ao colidirem elasticamente com o pistão
if (molecula[i].pos.y < recip_int.pos.y + molecula[i].radius): molecula[i].pos.y = recip_int.pos.y + molecula[i].radius
molecula[i].vel.y = - molecula[i].vel.y # reflexão das moléculas na direção y ao colidirem elasticamente com o fundo do recipiente
######################### define a interação (colisão) entre as moléculas ##for j in range(i+1, Nmol):
##
##      dx = molecula[i].pos.x - molecula[j].pos.x ##
##      dy = molecula[i].pos.y - molecula[j].pos.y ##
##      dz = molecula[i].pos.z - molecula[j].pos.z ##
##      if (sqrt(dx * dx + dy * dy + dz * dz) <= molecula[i].radius + molecula[j].radius): ##
##      molecula[i].vel.x = - veloc * sin(theta) * cos(phi) ##      molecula[j].vel.x = - molecula[i].vel.x
##
##      molecula[i].vel.y = - veloc * cos(theta) ##   molecula[j].vel.y = - molecula[i].vel.y ##
##      molecula[j].vel.z = - molecula[i].vel.z ##########################################################################
######################### VARIAÇÃO DA TEMPERATURA (DA ENERGIA CINÉTICA MOLECULAR)
```

```
        if (vmin <= molecula[i].vel.x <= vmax): molecula[i].vel.x = molecula[i].vel.x - (1 - 2 * nsi) *
dv
        ##      molecula[i].vel.x = vmin - (1 - 2 * nsi) * ((2 * nsi - 1) * npas + (1 - nsi) * Ninc) * (-
1.0)**(nsi) * (vmax - vmin) / Ninc

        if (vmin <= molecula[i].vel.y <= vmax): molecula[i].vel.y = molecula[i].vel.y - (1 - 2 * nsi) *
dv
        ##      molecula[i].vel.y = vmin - (1 - 2 * nsi) * ((2 * nsi - 1) * npas + (1 - nsi) * Ninc) * (-
1.0)**(nsi) * (vmax - vmin) / Ninc
        if (vmin <= molecula[i].vel.z <= vmax): molecula[i].vel.z = molecula[i].vel.z - (1 - 2 * nsi) *
dv
        ##      molecula[i].vel.z = vmin - (1 - 2 * nsi) * ((2 * nsi - 1) * npas + (1 - nsi) * Ninc) * (-
1.0)**(nsi) * (vmax - vmin) / Ninc
        ##      molecula[i].vel.x = molecula[i].vel.x + (-1.0)**(i+1) * dv ##
        ##      molecula[i].vel.y = molecula[i].vel.y + (-1.0)**i * dv ##
        ##      molecula[i].vel.z = molecula[i].vel.z + (-1.0)**(i+1) * dv

        ##      molecula[i].vel = vector(molecula[i].vel.x, molecula[i].vel.y, molecula[i].vel.z)
################################################
        ##      print(mag(molecula[i].vel)) ##          print(molecula[i].vel.x)
        molecula[i].pos += molecula[i].vel * dt # atualiza a posição das moléculas

        ##      molecula[i].color.y = 1.0 * nsi - (2 * nsi - 1) * grad # gradiente da cor da molécula ##
        if (hcmin <= liq_col.axis.y <= hcmax): # varia a altura da coluna do termômetro
        if (npt != 2):

        liq_col.axis.y = hcmin - (1 - 2 * nsi) * ((2 * nsi - 1) * npas + (1 - nsi) * Ninc) * (- 1.0)**(nsi+1)
* dh
        molecula[i].color.y = 1.0 - (1 - 2 * nsi) * ((2 * nsi - 1) * npas + (1 - nsi) * Ninc) * (-
        ##      print(veloc / liq_col.axis.y)

        ##      if (0.0 <= calor.axis.y <= hcil_max):
        ##
        ##      calor.axis.y = - (1 - 2 * nsi) * ((2 * nsi - 1) * npas + (1 - nsi) * Ninc) * (-1.0)**(nsi+1)
* hcil_max / Ninc
```

```
        vt = vmin - (1 - 2 * nsi) * ((2 * nsi - 1) * npas + (1 - nsi) * Ninc) * (-1.0)**(nsi+1) * dv_t
######################### VARIAÇÃO DO VOLUME (MOVE-SE O PISTÃO)
        if (ppmin <= pistao.pos.y <= ppmax and npas < Ninc): ##  pistao.pos.y = pistao.pos.y - (1 - 2
* nsi) * dt
        # move o pistão para baixo (nsi = 0) ou para cima (nsi = 1)
        pistao.pos.y = ppmin - (1 - 2 * nsi) * ((2 * nsi - 1) * npas + (1 - nsi) * Ninc) * (-1.0)**(nsi+1)
*
        dp
        embolo.pos.y = pistao.pos.y + pistao.axis.y # embolo acompanha o pistão ##
        pres_vol.plot(pistao.pos.y - base.pos.y, veloc / (pistao.pos.y - base.pos.y)) ##
        pres_vol.plot(pistao.pos.y - base.pos.y, veloc)
        ##              vt = vmin - (1 - 2 * nsi) * ((2 * nsi - 1) * npas + (1 - nsi) * Ninc) * (-1.0)**(nsi+1)
* dv_t if (npt == 1):
        vt = (vmax + vmin) / 2.0
        pres_vol.plot(pistao.pos.y - base.pos.y, (1.0 / (xmax_l - base.pos.y) + 1.0 / (xmin_l -
base.pos.y)) * Nmol * vt / 2.0)

        if (npt == 2):
        vt = (vmax + vmin) / 2.0

        pres_vol.plot(pistao.pos.y - base.pos.y, Nmol * vt / (pistao.pos.y - base.pos.y)) if (npt == 3):
        pistao.pos.y = (ppmin + ppmax) / 2.0 embolo.pos.y = pistao.pos.y + pistao.axis.y ns = 1 - nsi
        pp_var = ppmin - (1 - 2 * ns) * ((2 * ns - 1) * npas + (1 - ns) * Ninc) * (-1.0)**(ns+1) * dp
pres_vol.plot(pistao.pos.y - base.pos.y, Nmol * vt / (pp_var - base.pos.y))
        if (npas <= Ninc): npas += 1
        if (npas == Ninc):
        ##              fonte_term.color = color.white fonte_term.texture = textures.rough
aviso.visible = False
        dif = pistao.pos.y - fonte_term.pos.y - fonte_term.axis.y
############################################
        if (fonte_term.pos.y >= pfmin and npas >= Ninc): # recolhendo a fonte térmica
fonte_term.pos.y -= vfo * dt
        recip_ext.pos.y = fonte_term.pos.y + fonte_term.axis.y
        recip_int.pos.y = fonte_term.pos.y + fonte_term.axis.y + (alt_ext - alt_int) / 2 bulbo.pos.y =
recip_ext.pos.y + r_bu
```

liq_bulb.pos.y = bulbo.pos.y

coluna.pos.y = bulbo.pos.y + 0.96 * bulbo.radius liq_col.pos.y = bulbo.pos.y

pistao.pos.y = dif + fonte_term.pos.y + fonte_term.axis.y embolo.pos.y = pistao.pos.y + pistao.axis.y

##

print(molecula[1].pos.y, molecula[1].vel.y, molecula[1].pos.y - pistao.pos.y + molecula[1].radius)

Este guia servirá de apoio para trabalharmos o código do Vpython no Glowscript (on-line) para simular as transformações gasosas e entender os processos de expansão e compressão de um gás confinado em um cilindro preso por um pistão, hora fixo, hora móvel.[1]

Para simular as transformações isobárica, isotérmica ou isovolumétrica é só seguir o guia: na linha 65 do código acima e alterar o **npt** = para 1, 2 ou 3. Para acionar os movimentos de expansão e compressão do simulador é só seguir as orientações na linha 68, **nsi** = 0 ou 1.

[1] Link de Acesso:
https://www.glowscript.org/#/user/kleuber.produtoeducacional/folder/AmbienteFinal.py/program/Amb ienteFi nalexpans%C3%A3o.py