



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL -
PROFQUI

Ensino de termoquímica no contexto do Ensino Médio Técnico: um estudo de caso envolvendo a Química *Maker*

Caio Henrique Telles Lins Santos Albuquerque

RECIFE

2024

Caio Henrique Telles Lins Santos Albuquerque

**ENSINO DE TERMOQUÍMICA NO CONTEXTO DO ENSINO MÉDIO TÉCNICO:
UM ESTUDO DE CASO ENVOLVENDO A QUÍMICA MAKER**

Texto da dissertação de mestrado apresentado por Caio Henrique Telles Lins Santos Albuquerque como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Química no programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI).

Orientador: Prof. Dr. Bruno Silva Leite

RECIFE

2024

CAIO HENRIQUE TELLES LINS SANTOS ALBUQUERQUE

Ensino de termoquímica no contexto do Ensino Médio Técnico: um estudo de caso envolvendo a Química *Maker*

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI/UFRPE), polo Recife, como requisito necessário à obtenção do título de Mestre em Química.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Silva Leite.

Data de aprovação: ____/____/____.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Bruno Silva Leite – Presidente da Banca – Orientador.
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Prof. Dr. Antônio Inácio Diniz Junior (UFRPE)
Membro Interno Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Prof. Dr. Pedro Lemos de Almeida Junior – Membro Externo à Instituição.

Dedico este trabalho a minha família, em especial meus filhos Caio e Júlia, minha esposa Sabrina, minha mãe Maria Bernadete e meu irmão Cleidson.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele eu nada seria e nem aqui estaria. Nos momentos que me senti sozinho e pensei em desistir ele endureceu meu coração e me deu a força que precisava para ir até o fim.

À Maria Bernadete, minha mãe, que sempre investiu em minha formação e me permitiu estudar e através da educação minha vida e destino foram transformados. Mãe eu venci!

À minha família em especial minha esposa, Sabrina, uma companheira que me deu o suporte necessário para vencer essa batalha. Saiba que você foi a melhor escolha de minha vida e esse título também é seu.

Ao meu irmão Cleidson que através de seu exemplo mostrou que somos fortes e por mais que o corpo grite, a alma não dobra.

Ao meu pai, César Albuquerque, que não está mais nesse plano, mas tenho certeza que sua alma jamais deixou de olhar por mim.

Ao Colégio Militar do Recife, escola que vivenciei por 7 anos, os anos mais incríveis de minha juventude. Escola que me ensinou valores inegociáveis que carrego comigo até hoje como hierarquia, honra e camaradagem.

A Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, responsável pela minha formação acadêmica e profissional que me permitiu viver da Química, e todos os Mestres que contribuíram na minha formação em especial ao Professor Arnaldo Rabêlo de Carvalho, suas aulas até hoje fazem meus olhos brilharem, você me inspira.

Ao Instituto Federal de Pernambuco, IFPE, instituição da qual faço parte e nela vivencio, diariamente, a capacidade que a educação pública de qualidade tem de transformar vidas, permitindo assim que jovens pobres tenham oportunidades de ascender socialmente.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, responsável pelo acréscimo em minha formação através desse mestrado profissional que concluo hoje e todos os professores que me auxiliaram nessa jornada.

Aos mestres que tive em todas essas instituições e que tiveram uma parcela de contribuição do êxito que logro hoje. Vocês foram especiais e essenciais nesse processo.

Ao meu orientador o professor Bruno Leite que teve muita paciência nessa jornada, você foi essencial, motivando, se preocupando e até alertando quando necessário. Você foi mais que um orientador nesse processo. Obrigado do fundo do meu coração e que Deus sempre te abençoe.

Os sonhos, assim como a liberdade só são prisioneiros de nossa própria vontade, nós quisemos sonhar, CMR o sonho feito realidade.

(Lema do Colégio Militar do Recife).

RESUMO

Com o crescente interesse da inserção de tecnologias digitais na educação básica, surgiram diferentes espaços nas escolas para atender a essa demanda. Os antigos laboratórios de informática evoluíram para os laboratórios de robótica e, mais recentemente, para os laboratórios *Makers*. Estes últimos são espaços de criação, do fazer, onde é possível construir quase qualquer objeto com o auxílio de ferramentas tradicionais, como serras e martelos, e digitais, como computadores e impressoras 3D. Nesses espaços, reina a filosofia do "faça você mesmo". Eles visam promover a aprendizagem através da prática da construção, a chamada "mão na massa". Todavia, sua inserção no contexto escolar básico, especialmente para o ensino de disciplinas curriculares como a Química, apresenta desafios significativos: como adaptar o ensino de Química a esses espaços? Quais estratégias pedagógicas podem ser adotadas para enriquecer o aprendizado sem cair na repetição de métodos tradicionais em um ambiente diferente? E como os educadores podem engajar seus alunos e planejar as aulas de Química nesses laboratórios? Nesse contexto, este estudo visa trazer luz a essas questões ao explorar as contribuições da Química *Maker* no processo de ensino e aprendizagem de termoquímica em uma escola pública federal em Pernambuco. Utilizando uma metodologia de pesquisa qualitativa, o estudo foi organizado em três etapas principais: a construção de uma sequência didática voltada para o ensino de termoquímica na perspectiva *maker*; a implementação dessa sequência em um contexto de sala de aula real e; a análise e discussão dos dados coletados, com ênfase na observação participante e no estudo de caso como ferramentas metodológicas principais. A aplicação prática da sequência didática permitiu uma imersão direta no processo educativo, facilitando uma análise detalhada das interações, das atividades desenvolvidas e da receptividade pelos estudantes. Os resultados apontam para um aumento significativo no engajamento dos estudantes, demonstrando que a abordagem *Maker* pode revitalizar o ensino de conceitos complexos de Química ao promover uma experiência de aprendizagem mais interativa, prática e contextualizada. Foi observado que, ao participarem ativamente, como protagonistas, no processo de construção e experimentação, os estudantes demonstraram não só um melhor entendimento dos princípios da termoquímica, mas também desenvolveram habilidades de pensamento crítico. Entre as principais contribuições deste trabalho está a demonstração de como a integração da Química *Maker* pode ser uma estratégia eficaz para superar os desafios tradicionalmente associados ao ensino de ciências, proporcionando um modelo replicável para outras disciplinas e contextos educacionais. No entanto, o estudo também identificou limitações, incluindo a necessidade de recursos adequados e de formação específica para os professores, bem como dificuldades de currículo relacionado a integração multidisciplinar e carga horária, bem como destacando a importância do apoio institucional e da formação continuada para a implementação bem-sucedida de laboratórios *Makers* no ensino básico.

Palavras-Chave: Cultura Maker, Laboratório Maker, Ensino de Química, Termoquímica, Química Maker.

ABSTRACT

With the growing interest in incorporating digital technologies into primary education, various spaces within schools have emerged to meet this demand. What were once computer labs have evolved into robotics labs and, more recently, Makerspaces. These Makerspaces are creative environments where almost any object can be constructed using traditional tools like saws and hammers, as well as digital tools like computers and 3D printers. These spaces embody the "do it yourself" philosophy and aim to promote learning through hands-on construction, or "learning by doing." However, integrating such spaces into primary education, particularly for teaching curricular subjects like Chemistry, presents significant challenges. How can Chemistry education be adapted to these spaces? What pedagogical strategies can be adopted to enrich learning without merely replicating traditional methods in a different setting? How can educators engage students and plan Chemistry lessons in these labs? In this context, this study aims to shed light on these questions by exploring the contributions of Maker Chemistry in the teaching and learning process of thermochemistry in a federal public school in Pernambuco. Using a qualitative research methodology, the study was organized into three main stages: the development of a didactic sequence aimed at teaching thermochemistry from a Maker perspective, the implementation of this sequence in a real classroom setting, and the analysis and discussion of the collected data, with a focus on participant observation and case study as the primary methodological tools. The practical application of the didactic sequence allowed for direct immersion in the educational process, facilitating a detailed analysis of interactions, activities developed, and student receptiveness. The results indicate a significant increase in student engagement, demonstrating that the Maker approach can revitalize the teaching of complex Chemistry concepts by promoting a more interactive, practical, and contextualized learning experience. It was observed that by actively participating as protagonists in the construction and experimentation process, students not only developed a better understanding of thermochemistry principles but also enhanced their critical thinking skills. Among the key contributions of this work is the demonstration of how integrating Maker Chemistry can be an effective strategy to overcome traditional challenges associated with science teaching, providing a replicable model for other subjects and educational contexts. However, the study also identified limitations, including the need for adequate resources and specific teacher training, as well as curriculum-related difficulties concerning multidisciplinary integration and time constraints. The study highlights the importance of institutional support and continuous professional development for the successful implementation of Makerspaces in primary education.

Keywords: Maker Culture, Maker Space, Chemistry Education, Thermochemistry, Maker Chemistry..

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tênis novo e destruído	20
Figura 2 – Resumo de Etapas do desenho 3D de Foguete contido na SD.....	52
Figura 3 – Fotos dos foguetes produzidos pelos estudantes.....	54
Figura 4 – Foguete estudante Índio com falhas de impressão.....	55
Figura 5 – Foguete estudante Molibdênio com falhas de impressão.....	55
Figura 6 – Foguete do Estudante Roentgênio.....	56
Figura 7 – Agrupando “Orifício” com “Sólido” para fazer recorte no desenho 3D.....	71
Figura 8 – Sistemas e seus tipos	7
Figura 9 – Lei zero	8
Figura 10 – Transferência de Calor	9
Figura 11 – calibrando um calorímetro	11
Figura 12 – Trabalho exercido sobre um corpo.....	12
Figura 13 – Expansão de gás contra uma força.....	13
Figura 14 – Calorímetro isobárico.....	16
Figura 15 – Representação da ruptura de ligação Química.....	20
Figura 16 – Energia potencial molecular em função da distância internuclear.....	20
Figura 17 – Tela inicial do Tinkercad	28
Figura 18 – Tinkercad projetos.....	29
Figura 19 – Tinkercad layout de desenho de objeto.....	30
Figura 20 – Fazendo um cilindro e um copo no TinkerCad.....	31
Figura 21 – Fazendo um cone e um copo cônico no TinkerCad	32
Figura 22 – Fazendo um copo furado no TinkerCad.....	33
Figura 23 – Fazendo corpo do foguete	34
Figura 24 – Fazendo as asas do Foguete	35
Figura 25 – Unindo corpo do foguete as asas	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Reformas Educacionais na 1ª República.....	28
Quadro 2 – Principais características do estudo de caso para Creswell.....	36
Quadro 3 – Principais características de um Estudo de caso	36
Quadro 4 – Amostra probabilística em pesquisa e suas características	38
Quadro 5 – Amostra não probabilística em pesquisa e suas características.....	39
Quadro 6 – Questionário Prévio as Aulas no laboratório <i>Maker</i>	43
Quadro 7 – Questionário conceitos básicos sobre: Calor, Energia Interna e Trabalho.....	44
Quadro 8 – Questionário Após as aulas no Laboratório <i>Maker</i>	45
Quadro 9 – Gabarito para questionário de conceitos básicos: Energia, Calor e Trabalho	48
Quadro 10 – Questionário Conceitos Básicos: critérios de correção	49
Quadro 11 – Sequência didática: assuntos e prática executada	51
Quadro 12 – Análise de acertos no questionário conceitos básicos: Calor, Energia Interna e Trabalho.....	59
Quadro 13 – Análise de questionário prévio as aulas no Laboratório <i>Maker</i>	62
Quadro 14 – Questão 1 contato anterior com a termoquímica e termodinâmica.....	62
Quadro 15 – Questão 2 como a termoquímica contribui no funcionamento de foguetes	63
Quadro 16 – Questão 3 Experiência <i>maker</i> anterior	64
Quadro 17 – Análise do questionário após as aulas no Lab <i>Maker</i>	66
Quadro 18 – Questionário após aula em Lab. <i>Maker</i> – 3) impressões do TinkerCAd	68
Quadro 19 – Questionário após aulas no Lab. <i>Maker</i> – 5) Facilidade de desenho no TinkerCAd	70
Quadro 20 – Questionário após aulas no Lab. <i>Maker</i> – 6) criação de protótipo ou interesse posterior.....	72
Quadro 21 – Questionário após aulas no Lab. <i>Maker</i> – 9) Crê em melhorias na modelagem do foguete	74
Quadro 22 – ações da sequência didática.....	38

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	8
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
1.1. Teorias da aprendizagem.....	11
1.1.1. Behaviorismo.....	11
1.1.2. A Teorias Cognitivistas	13
1.1.3. O Construcionismo de Papert	15
1.2. O Universo <i>Maker</i>	17
1.2.1. A Cultura e o Movimento <i>Maker</i>	17
1.2.2. Aprendizagem <i>Maker</i>	20
1.2.3. Educação <i>Maker</i>	21
1.2.4. Os Espaços <i>Makers</i> e a prototipagem de objetos	23
1.3. História da Educação, da Química e do Ensino de Química no Brasil	25
1.3.1. Educação e a Química do período colonial ao Império.....	25
1.3.2. A educação e a Química na velha republica nas ditaduras.....	27
1.3.3. A educação e a Química pós constituição de 1988	29
2. METODOLOGIA.....	33
2.1. Pesquisa Qualitativa.....	33
2.2. Pesquisa Participante.....	34
2.3. Estudo de Caso.....	35
2.4. Universo da pesquisa.....	37
2.5. Etapas da Pesquisa	41
2.5.1. Produto Educacional: sequência didática	41
2.5.2. Coleta de Dados.....	42
2.5.3. Análise dos dados	45
2.5.4. Considerações no tratamento de dados dos questionários.....	47

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
3.1. Produto educacional: Sequência Didática.....	50
3.2. Contexto das aulas ministradas e da produção dos foguetes	53
3.3. Análise dos questionários.....	58
3.3.1 Questionário sobre conceitos básicos de termodinâmica	58
3.3.2 Percepções dos estudantes anteriores as aulas no Laboratório <i>Maker</i>	61
3.3.3 Percepções dos estudantes após a atividade no Laboratório <i>Maker</i>	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICE A – Apresentação utilizada nas aulas	87
APÊNDICE B – Explanação das aulas dialogadas	103
APÊNDICE C – Produto educacional: Sequência Didática.....	104
APRESENTAÇÃO.....	1
1. Contextualizando a Termoquímica e a Termodinâmica.....	5
2. Abordagem: a Termoquímica e a Termodinâmica	6
3. Entendendo a Termodinâmica e a Termoquímica	7
3.1. Sistemas	7
3.2. Calor, temperatura e a lei zero	8
3.3. Trabalho	12
3.4. A Primeira Lei da Termodinâmica.....	14
3.5. Conceito de Entalpia	15
3.5.1. Estado padrão, Entalpia padrão e Entalpia padrão de formação	17
3.6. Diferentes entalpias.....	19
3.6.1. Entalpia Vaporização.....	19
3.6.2. Entalpia de Ligação	19
3.6.3. Entalpia de Combustão.....	23
4. Cultura, movimento e Aprendizagem <i>Maker</i>	25

5. Desenho de Objetos	27
6. Sequência Didática	37
7. Aplicação da sequência didática	38
7.1. Aula 1	39
Exercício 1 - Aula 1	39
Exercício 2 - Aula 1	40
Questionário aula 1:	42
7.2. Aula 2	43
7.3. Aula 3	43
7.4. Aula 4	43
7.5. Aulas 5,6 e 7	44
7.6. Aula 8	44
Referências bibliográficas	46

INTRODUÇÃO

A Pesquisa em Ensino de Química (PEQ) é uma área que vem tomando corpo nas últimas décadas. Segundo Schnetzer (2002), ela começou como um ramo da Pesquisa em Ensino de Ciências (PEC), que, por sua vez, iniciou-se nos anos de 1960 e 1970 como uma mera aplicação das ciências humanas em especial da Psicologia. Em pouco tempo PEQ consolidou-se como uma área específica de pesquisa.

Essa consolidação, naquele momento histórico, estava ligada a condições como a existência de uma problemática relevante e especificidade que justificasse os esforços necessários ao seu estudo de forma a impedir de ser estudada por outra área existente, apontam Cachapuz, e colaboradores (2001).

Historicamente, Frazer (1982) destacou que a principal diferença entre a pesquisa em Química (PQ) e a PEQ estava no fato de a primeira investigar os fenômenos em a nível eletrônico, enquanto que a segunda investigava pessoas, especialmente no processo de aprender química. Isso levou a uma divisão, ainda que tardia no Brasil, dessas duas áreas de pesquisa. Apesar da importância histórica da visão de Frazer, essa classificação consideramos atualmente superficial e limitada. Preferimos uma visão mais ampla, como a de Schnetzler (2002), que afirma que a PEQ é marcada pela especificidade do conhecimento científico químico, que está na raiz dos problemas de ensino e aprendizagem. Isso implica, afirma a autora, em pesquisas sobre métodos didáticos mais adequados ao ensino, bem como investigações sobre processos que melhor deem conta das necessárias reelaborações conceituais ou ainda das transposições didáticas para o ensino de determinado conceito químico no conhecimento escolar, levando assim às questões centrais sobre o que, como e por que ensinar química.

Schnetzer ainda pontua que o reconhecimento da PEQ dependia da divulgação da sua capacidade de resolver problemas que não poderiam ser resolvidos pelas outras áreas da química, sendo o domínio do conhecimento químico uma condição necessária, mas não é suficiente para o desenvolvimento da área. Os pesquisadores em ensino, afirma ela, se envolvem com interações entre pessoas (alunos, professores e comunidade) e também com a dinâmica do conhecimento nas aulas de química, precisando, conseqüentemente, recorrer as contribuições teóricas de outras áreas como filosofia, psicologia, antropologia e outras.

Com o passar das décadas a educação, e a humanidade, no Brasil e no Mundo ganhou uma série de aparatos tecnológicos e meios de comunicação. Computadores, *tablets*, *smartTVs*, *smartphones* e redes sociais transformaram a forma e a velocidade de nos comunicarmos e, de certa forma, de estudar e conseqüentemente potencializaram o aprender (Pimentel, 2015). Para

Leite (2018), atualmente vivemos aquilo que chamamos Era da Informação ou Era Digital, em que o acesso às novas Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) está cada vez mais disseminado entre as pessoas. Dentro desse contexto talvez se necessite uma mudança nas práticas pedagógicas ou ainda uma experimentação de métodos de ensinar que se utilizem das novas TDIC.

Além disso a humanidade vem mudando sua forma de interagir entre si, através das TDIC temos uma apropriação de cultura e métodos. O indivíduo nunca foi tão capaz de aprender, se apropriar e compartilhar colocando em prática conhecimentos e culturas de partes e regiões remotas do Globo.

Nesse contexto, a cultura do *Faça Você Mesmo* (FVM), ou do inglês *Do It Yourself* (DIY), vem contribuindo para espalhar dentre outras coisas a ciência entre as pessoas (Sarponga; Ofosub; *et al.*, 2020). Todavia, essa disseminação ocorre de uma forma jamais vista, pois não é impositiva por qualquer organização ou governo, mas se alastra de forma orgânica, democrática e comunitária.

A disseminação do DIY deu origem ao Movimento *Maker* (MM) que é um movimento social de compartilhar boas práticas, de tecnologia, produção de manufaturados e soluções, que podem ser realizadas por nós indivíduos (Gelber, 1997). Uma corrente de fato quase na contramão do capitalismo corporativo tal qual como conhecemos (Gershenfeld, 2012). Esse movimento é uma manifestação cultural de liberdade e customização do indivíduo quanto a seus anseios e necessidades que vem transformando a sociedade a partir de sua base, sua menor fração, o ser individual (Gershenfeld, 2012).

Como todo movimento espontâneo ele vai se infiltrando nos diversos setores da sociedade até chegar naquele que transforma as gerações, a educação. De tal forma que apesar de não ter surgido nela, suas práticas vêm sendo incorporadas aos poucos nos ambientes educacionais e formando aquilo que vamos chamar de **Educação Maker** (EM).

Sob a ótica da PEQ já é possível encontrar trabalhos com uso da EM no Ensino de Química (EQ), formando aquilo que tem se chamado de **Química Maker** (QM) com algumas aplicações dos princípios DIY no aprendizado de conceitos químicos (Wallen; Dhau; *et al.*, 2020).

Em um levantamento bibliográfico, inicial, realizado em 2021 nessa pesquisa, utilizando o portal de periódicos da CAPES, o *Science Direct*, *Google acadêmico*, *Web of Science* e uma busca nos portais de revistas com Qualis A e B da CAPES foram encontrados apenas cinco trabalhos contendo ensino de Química com abordagem *Maker*. Com isso, podemos afirmar que pesquisas envolvendo o Ensino com *Química Maker* (EQM) são muito recentes e não abrangem

todos os conceitos de química além disso praticamente não foram realizados no Brasil. Sabendo que o aprendizado depende dentre outros fatores da conjuntura local e social do ambiente pesquisado, percebemos haver a necessidade de investigar como decorre o aprendizado da Química pelo estudante brasileiro sobre uma perspectiva do ensino *maker*.

Atentando para o fato que o Brasil é um país continental com consideráveis diferenças sociais, econômicas e educacionais, conforme aponta relatório do IPEA, Instituto de pesquisas econômicas aplicadas (2016), onde o Índice de desenvolvimento humano municipal, IDHM, da Região Nordeste é o menor do Brasil. A investigação de novas práticas pedagógicas se faz necessária no intuito de apontar novos caminhos, contribuindo para melhorar a educação na região e verificando assim se cultura *maker* pode ser uma alternativa nesse processo.

Considerando ainda que os espaços tecnológicos próprios, os Laboratórios *Makers*, para vivência e compartilhamento da chamada cultura *Maker*, já se fazem presentes em todos os estados brasileiros através iniciativas como legislação de criação e incentivo (Brasil, 2020). Além disso, esses espaços, também se fazem presentes em praticamente em todos os países do mundo conforme Pinto e colaboradores atestaram em seu trabalho (2018). Entendemos ser necessário investigar como o ensino de Química pode ser realizado em um contexto da Química *Maker*. Para isso, o objetivo principal desta pesquisa será analisar as contribuições do ensino com Química *Maker* no processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos da termoquímica em uma escola pública federal no estado de Pernambuco.

Para alcançar este objetivo, teremos como objetivos específicos:

- ✓ Elaborar uma sequência didática baseada no EQM para um conteúdo da termoquímica;
- ✓ Avaliar as contribuições do ensino com química *maker* na percepção dos estudantes.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Existem diversas teorias de aprendizagem bem como correntes derivadas delas. Iremos abordar algumas delas e nos aprofundar naquelas que melhor dialogam com a Aprendizagem *Maker* (AM). Em seguida iremos definir e fundamentar o universo em torno do Movimento *Maker* (MM), contemplando seus membros e respectivos princípios, para então adentrarmos nos espaços por eles ocupados, os laboratórios, explicando as necessidades instrumentais nesses ambientes. Por fim iremos fazer uma abordagem sobre o ensino de Química, trazendo na literatura trabalhos que apontam os principais problemas encontrados que dificultam o aprendizado dos estudantes.

1.1. Teorias da aprendizagem

Diversas teorias de aprendizagem foram enunciadas e testadas ao longo do último século. Nessa seção iremos destacar aquelas que mais dialogam com os pressupostos que fundamentam a aprendizagem que decorre em um contexto da Cultura *Maker* bem como aquelas que serviram de base ou contraposição a estas. Portanto escolhemos abordar o Behaviorismo que se contrapõe as teorias Cognitivistas, sendo elas por sua vez e em ordem cronológica responsáveis por culminar no Construtivismo de Papert que acreditamos ser a teoria que mais se enquadra para explicar o aprendizado que ocorre na Educação *Maker*.

1.1.1. Behaviorismo

O Behaviorismo, ou comportamentalismo, é uma teoria de aprendizagem, criada por John B. Watson, que afirmava que o ser humano não possuía herança biológica, era uma tábula rasa ao nascer, e aprendia a partir de seu ambiente. Trata-se de uma teoria de caráter empirista, que desconsiderava os processos mentais como objeto de pesquisa, focando apenas naquilo que poderia ser consensualmente observável (Ostermann; Holanda, 2011).

Para além do Behaviorismo de Watson, chamado de metodológico e baseado em estímulos ambientais e respostas comportamentais, temos também o Behaviorismo radical cujo principal nome é Burrhus F. Skinner que levou as ideias behaviorista, antes no campo do comportamento, para um enfoque mais educacional.

As ideias de Skinner (1965) versam sobre a análise do comportamento humano que pode ser controlada pelo conjunto “estímulo-resposta”, sendo o estímulo proveniente de um agente externo e a resposta um determinado comportamento controlado pelo observador. Esse

conjunto é chamado de reflexo que pode ser condicionado ou não. Além disso, Skinner (1965) também introduz o conceito de condicionamento operante, que é um aprendizado baseado em punições e recompensas. Skinner (1965) explica que se determinada ação executada pelo indivíduo traz consequência benéfica para ele, isso aumenta a probabilidade de repetição daquele comportamento. Todavia se um comportamento traz consequência indesejada àquele indivíduo, haverá uma probabilidade diminuída de recorrência da conduta.

Skinner (1965) leva essas concepções para a Educação, e descreve as escolas privadas como outras instituições (empresas, agências militares e igrejas), cuja função é controlar o comportamento para se atender o desejado pelo respectivo grupo através de reforços positivos e punições. As escolas públicas, com suas notas baixas, têm uma função de substituir o papel de supervisão da família em parte do dia, gerando um comportamento no estudante útil para a família e a comunidade, livrando assim a família do papel de censura. Os reforços positivos usados pelas instituições de ensino consistem em notas, diplomas, medalhas dentre outros que reforçam a aprovação de determinado comportamento (Skinner, 1965).

Essa visão materialista de Skinner o levou a desenvolver as máquinas de ensinar na década de 1960, máquinas estas que influenciaram muitos *softwares* educacionais, mais contemporâneos, que são baseados nos mesmos princípios dos equipamentos de Skinner. Contudo, Moreira (2022) considera a visão de Skinner na educação essencialmente periférica, pois não leva em consideração aquilo que ocorre na mente do indivíduo durante a aprendizagem, só interessando o comportamento observável, ou seja, o processo que ocorre entre o estímulo e a resposta é desconsiderado. Para Matos (1993) o Behaviorismo radical de Skinner nega completamente a existência de algo afora do mundo físico como mente, cognição e consciência. Além disso aceita integralmente todos os fenômenos como comportamentais. Já Leite (2018) afirma que a principal concepção de Skinner, para o campo educacional, é que o comportamento é controlado por suas consequências e para além dos estímulos e respostas podemos trazer reforços positivos e negativos para se atingir determinados objetivos comportamentais. Todavia, Bjork (1993), ressalta que as chamadas “tecnologias do ensino” são o coração das invenções sociais produzidas por Skinner, dando esse destaque, pois, foram direcionadas para resolver problemas educacionais existentes à época.

Por fim, o ensino baseado em vertentes skinnerianas se faz muito presentes nas escolas em diversos níveis educacionais no Brasil, ainda que sem a percepção ou intencionalidade por parte dos educadores como mostraram Nascimento Filho e colaboradores (2019) em estudo realizado em escola pública da Paraíba.

Essa relação skinneriana no ambiente escolar se faz presente na relação educador e educando, bem como na relação trabalhista entre escola e educador, como demonstraram Braga e colaboradores (2014), em trabalho na rede pública do estado do Ceará. Na obra os autores pontuam que a escola tem uma gestão centralizada, sem a participação estudantil em decisões, sendo apenas valorizados aqueles com melhores resultados em avaliações. Com relação aos docentes havia um perfil a ser atingido com metas e premiações àqueles que as alcançassem. Gerando, portanto, um comportamento condicionado em todo o corpo escolar, a estímulos e reforços positivos e negativos, para obter como respostas um comportamento desejado. Como consequências Braga et al. (2014) apontam individualismo e competitividade entre estudantes. Entre os professores impera desmotivação e frustração quando muitas vezes não atingem metas árduas que dependiam de fatores alheios a dedicação do docente.

Relatos como esses são comuns em muitas escolas brasileiras e nos leva a uma reflexão que talvez uma maior pluralidade de propostas educacionais possa trazer mais benefícios a educação brasileira.

Sobre Skinner, podemos inferir que suas investigações contribuíram para alguns aspectos na educação, em que o behaviorismo foi (e é) amplamente abordado nas instituições de ensino no Brasil e no mundo. Suas propostas contribuíram também para o surgimento de mudanças necessárias na forma de pensar o estudante, em que o processo de ensino e aprendizagem não se restringia a apenas estímulo e resposta.

1.1.2. A Teorias Cognitivistas

O cognitivismo se contrapõe ao behaviorismo, que estuda o comportamento, pois ele se propõe a analisar a mente no ato de conhecer o mundo e como o homem desenvolve seu conhecimento acerca do mundo. A psicologia cognitiva se preocupa com o processo de compreensão e transformação, bem como o armazenamento e utilização das informações compreendido no plano da cognição.

Os expoentes do cognitivismo são Piaget e Vygotsky que não desenvolveram uma teoria de aprendizagem propriamente, entretanto seus estudos serviram como pressupostos para teóricos da área educacional que desenvolveram a teoria de aprendizagem chamada de Construtivismo. Teoria essa que já foi equivocadamente atribuída por alguns professores como método de ensino (Santos, 2006).

O construtivismo sob a percepção de Piaget é o processo de aprendizagem do sujeito que ocorre de acordo com interações e perturbações do conhecimento em seu meio,

considerando que critérios como a idade do indivíduo estão relacionadas ao contexto (Piaget, 1997). Assim, a aprendizagem construtivista requer que o aluno passe pelo processo de perturbação do equilíbrio de seus conceitos, em seguida a conservação que é a compensação da modificação simultânea do objeto e a assimilação versus acomodação do mesmo conceito. Dessa forma, ao final do processo evolutivo da aprendizagem temos um sujeito autônomo, questionador, adaptativo e interativo com o seu meio (Piaget, 1997). Sua teoria construtivista esclarece que cada indivíduo tem um próprio mecanismo de aprendizagem antes mesmo de ir à escola e a construção do conhecimento é resultante da interação social e a educação se baseia em um conjunto de problemas realistas e motivadores (Piaget, 1997).

Os meios que a criança se utiliza ao interagir com o meio, na perspectiva piagetiana, são a “organização interna” e a “adaptação ao meio” que ocorre por “assimilação” e “acomodação”. Sendo assim esses processos que constituem o “modo de funcionamento intelectual” que são invariantes funcionais, de aspecto hereditário, que permanecem por toda vida (Santos, 2006, p. 103)

Vygotsky, por sua vez, segue uma linha sociointeracionista, em que atribui grande importância ao papel da interação social no desenvolvimento humano. Explicando assim em seu trabalho como ele é socialmente construído, dando uma maior importância ao ser social e se contraponto de certa forma a Piaget que dava maior ênfase aos fatores biológicos, que Vygotsky acreditava ser preponderante apenas no início da vida infantil. Na perspectiva vygotskiana o desenvolvimento do ser cultural se dá a partir das interações o grupo social em que vive, pois as formas mais sofisticadas emergem da vida social (Santos, 2006)

Na criança o processo de desenvolvimento, para Vygotsky, pode ser compreendido por meio dos níveis de desenvolvimento potencial (NDP) e real (NDR), bem como a zona de desenvolvimento proximal (ZDP) situada entre eles. Sendo o NDP aquilo que a criança ainda vai conseguir realizar, o NDR aquilo que ela já consegue fazer sozinha e a ZDP aquilo que ela consegue realizar com ajuda de terceiros. Dessa forma, o que está situado no NDP hoje, pode evoluir para ZDP e depois atingir a NDR (Leite, 2018). Nesse sentido, Vygotsky explica, sobre a ZDP, que:

Ela é a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes (Vygotsky, 2007, p. 97).

Em sua teoria, conhecida como sociointeracionista, Vygotsky buscou entender o processo de formação de conceitos identificando que existem três estágios no percurso de desenvolvimento de um conceito: o pensamento sincrético, o pensamento por complexos e o pensamento conceitual. No nível sincrético a criança forma seus primeiros grupamentos de objetos sem organização. No segundo ela consegue agrupar objetos baseado em complexos com base em atributos factuais. No terceiro nível se dá a formação do objeto propriamente dito, pois requer a capacidade de abstração, isolar elementos, examinando os elementos abstratos de forma separada da experiência concreta. Sendo obrigatoriamente necessário a palavra que codifica o conceito, estando assim o pensamento conceitual vinculado ao pensamento verbal (Oliveira, 2019).

Vygotsky também propõe um conjunto dinâmico de significados em que o afetivo e intelectual se inter-relacionam, onde as necessidades e impulsos de uma pessoa direcionam os seus pensamentos e simultaneamente esses pensamentos impulsionam seu comportamento e atividade (Vygotsky, 2010).

Em trabalho realizado por Oliveira (2010), é feita a relação entre a obra de Vygotsky e a experimentação em aulas de química. A autora afirma que as ideias apresentadas por Vygotsky nos ajudam a entender o papel motivador das atividades experimentais, pois o desenvolvimento do pensamento conceitual é influenciado pelos desejos e emoções, que por sua vez, são influenciados pelo pensamento conceitual. Em outras palavras a experimentação traz um fator motivacional e emocional, que por sua vez retroalimenta a capacidade de aprendizado de determinados conceitos.

1.1.3. O Construcionismo de Papert

Seymour Papert, relata em sua obra (1986) o quão era fascinado por engrenagens em sua infância e como isso o ajudou no aprendizado de equações matemáticas, tornando esse assunto prazeroso. Ele afirma também que descobrira posteriormente que sua relação de curiosidade de entender o funcionamento desses objetos estava, de certa forma, explicado na obra de Piaget, ainda que sentisse falta nela da importância do elemento emocional afetivo na aprendizagem (Papert, 1986).

Esse é o primeiro aspecto que diferencia o construcionismo de Papert do construtivismo de Piaget. Papert estava interessado em seu estudo, epistemológico genético, aplicá-lo para além da ênfase cognitiva de Piaget com ênfase na criação das condições sob as quais os modelos intelectuais seriam fixados. O Instrumento que melhor serviria para criar essas condições e

modelos seriam os computadores. Ele afirmava que as crianças poderiam ser vistas como construtoras de suas próprias estruturas intelectuais e como qualquer construtor, ela necessitaria de “materiais para suas obras”. Piaget afirmava que o meio cultural seria fonte desses materiais e nesse ponto Papert discordava, pois, acreditava ele, que o meio cultural seria pobre em materiais capazes de tornar determinado conceito simples e concreto (Papert, 1986).

Em seu ambiente virtual contendo uma tartaruga gráfica, chamado LOGO, a criança ao invés de ser guiada, ou programada, pelo computador, ela está no controle do mesmo, programando e ensinando ele a “pensar” embarcando dessa forma em uma exploração sobre a maneira como ela própria pensa (Papert, 1986, p. 35). Essa é a visão de Papert sobre o modo como deve ocorrer o aprendizado, com o sujeito sendo um ser ativo, epistemólogo, na construção de seu saber e os “objetos” são ferramentas a serem usadas nesse processo.

Segundo Sobreira, Viveiro e D’Abreu (2020), para se conseguir engajamento, o computador não pode ser entendido como uma ferramenta qualquer. Isso ocorre em programas prontos para visualização ou execução de exercício mecânicos. Os autores defendem o uso significativo do computador de forma a criar oportunidades para que a criança possa programar e ter domínio sobre essa tecnologia. Além disso, Sobreira, Viveiro e D’Abreu (2020) defendem que trabalhar com o ensino de programação em conjunto com a grade curricular favorecem práticas, onde o uso do computador estaria diretamente voltado para a construção do conhecimento.

Sobreira, Viveiro e D’Abreu (2020) afirmam que tanto a aprendizagem criativa como a Cultura *Maker* derivam dos ambientes construcionistas, descritos por Papert. Naturalmente existem outros alicerces e bases históricas da Cultura *Maker* que remontam a períodos anteriores as obras de Papert e, assim, vão de encontro ao que Sobreira, Viveiro e D’Abreu (2020) afirmam. Talvez, em uma reflexão mais profunda Sobreira e colaboradores queriam colocar que nos ambientes educacionais descritos por Papert a Cultura *Maker* era vivenciada em sua forma mais eficiente quando aplicada ao ensino e, portanto, parecia ser a cultura *Maker*, no ensino, derivada desses ambientes propostos por Papert. Essas bases que remetem a períodos anteriores as obras de Papert serão abordadas na seção a seguir “O Universo *Maker*” desse trabalho.

1.2. O Universo *Maker*

O ser humano é por si só um fazedor, a humanidade se desenvolveu nos últimos séculos criando e desenvolvendo novos objetos, ferramentas, utensílios e tecnologias das mais diversas. Essas características permitiram um domínio sobre o planeta inalcançável por qualquer espécie.

A elevada capacidade de socialização e comunicação é outra característica inerente ao homem permitindo que o conhecimento, por ele criado, fosse transmitido ao longo das gerações fazendo com que se somassem ao longo do tempo com auxílio de tecnologias, também por ele, desenvolvidas desde a escrita até os computadores e *smartphones* atuais.

Dentro desse âmbito do ser humano fazedor temos diversos termos e contextos que nos cabem aqui pontuar e discernir para evitar confusões como: Movimento *Maker*, Cultura *Maker*, Aprendizagem *Maker*, Educação *Maker* e Espaços *Makers*. Esses e outros aspectos serão discutidos nas subseções a seguir.

1.2.1. A Cultura e o Movimento *Maker*

Com o advento da internet, sua popularização e posteriormente a criação de diversas redes sociais e fóruns, a capacidade de compartilhar não só informações, mas também técnicas de fabricação, customização e criação de artefatos diversos atingiram um outro patamar.

Pessoas de culturas e continentes diferentes podem, então, inventar, compartilhar suas criações e ideias, bem como receber de outrem e, assim, aprender a fazer, por si só, quase qualquer coisa sem qualquer tipo de educação formal mediando esse processo.

Esse engajamento, do *Faça Você Mesmo* (FVM), do inglês *Do It Yourself* (DIY), ou *Hands On* (do Inglês, mãos na massa) com o compartilhamento colaborativo, caracteriza aquilo que vamos chamar de Cultura *Maker*¹, sendo ela por sua vez embrionária daquilo que vem a ser o Movimento *Maker*.

Para entender a origem dessa cultura do DIY vamos historicamente visitar as duas primeiras décadas do século 19, onde inicialmente ocorreu uma ressignificação do papel do marido suburbano na sociedade americana. Nesse contexto esse indivíduo passa a atuar fazendo serviços braçais do lar que vão desde consertos, reformas, reparos e instalações diversas até a

¹ **Cultura *Maker***: Na literatura consultada para elaboração desta obra não há uma diferenciação clara entre a Cultura e o Movimento *Maker*. Alguns autores usam ambos os termos com o mesmo significado enquanto outros preferem usar apenas Movimento *Maker*. Por entender que a cultura do DIY ou FVM, vai além do simplesmente fazer, mas se estende a uma filosofia que vai na contraposição do comprar, ter posse e consumir. Dessa forma se configura, portanto, uma prática cultural de costumes e hábitos que precede a dinâmica de disseminação desta em determinados espaços. O *modus operandi* da disseminação dessa cultura caracteriza então, para este pesquisador, o Movimento *Maker*

fabricação de móveis, em detrimento de contratar mão de obra especializada. Com o passar do tempo se torna comum as casas terem cômodos contendo mini oficinas, uma área a priori de domínio masculino. (Gelber, 1997)

O termo DIY se dissemina por toda a sociedade americana ao longo da primeira metade do século 20 e atinge várias classes. Ele acaba se tornando uma mistura de passa tempo e trabalho doméstico gratificante e se justifica dentre as diversas classes sociais por diferentes motivos. Para os mais abastados é uma tarefa gratificante que supre o tédio e insatisfações das profissões bem remuneradas de escritório. Para aqueles menos favorecidos socialmente trata-se de uma questão de economia o ato de fazer ao invés de contratar profissionais qualificados (Gelber, 1997).

Durante a década de 1950 ferramentas e máquinas tradicionais ganharam reforço, pois pesquisadores do MIT, Massachusetts Institute of Technology, em 1952, criaram a primeira máquina de controle numérico computadorizado, CNC. Para isso eles conectaram uma fresadora convencional a um computador. A partir disso todos os tipos de ferramentas de corte, desde fresadoras de corte tradicionais a máquinas de corte em plasma, foram então montados em plataformas numéricas controladas por computador (Gershenfeld, 2012).

Uma nova era, então, se inicia. Nela as máquinas controladas numericamente por computador permitem construir quase todos os componentes comercializados pela indústria atual seja diretamente, como capas de notebooks e motores a jato, ou indiretamente, produzindo as ferramentas que moldam e cunham uma diversidade de itens produzidos em massa (Gershenfeld, 2012).

Existe, todavia, uma limitação em todas as descendentes dessas máquinas CNC, pois elas podem cortar, entretanto não conseguem alcançar estruturas internas do objeto a ser produzido, em outras palavras o eixo de uma roda deve ser fabricado separadamente do rolamento por onde ele passa. A solução para isso se deu na década de 1980, onde surgiram processos de fabricação controlados por computador, que acrescentavam ou invés de remover materiais, chamados de manufatura aditiva, ou simplesmente impressão 3D (Gershenfeld, 2012).

Graças à impressão 3D, rolamento e eixo podem ser construídos pela mesma máquina ao mesmo tempo. Além disso, atualmente temos uma variedade de processos de impressão 3D disponíveis. Dentre eles destacamos a fusão térmica de filamentos de plástico, o uso de luz ultravioleta para reticular resinas poliméricas, o depósito de gotículas adesivas para ligar um pó, o corte e laminação de folhas de papel e a incidência de um feixe de laser para fundir

partículas metálicas. As empresas já usam impressoras 3D para modelar produtos antes de produzi-los, um processo conhecido como prototipagem rápida (Gershenfeld, 2012).

Da década de 1980 para cá vem ocorrendo, cada vez mais, uma disseminação crescente de pessoas engajadas na produção criativa de artefatos de seu cotidiano e que encontram espaços físicos e digitais para compartilhar seus processos e produtos com outros indivíduos, para Halverson e Sheridan (2014) isso pode ser chamado de Movimento *Maker* e os indivíduos que fazem parte dele são chamados *Makers*². Anderson (2012), por sua vez, considera o movimento como a nova revolução industrial, identificando presente no Movimento *Maker* três grupos equivalentes aos de outras eras: os consertadores, os inventores e os empreendedores, todavia com três características chave dessa era: 1) O uso de ferramentas e aplicações digitais de um computador ou similar, 2) uma cultura de compartilhamento de projetos e colaboração on-line, 3) o uso de *design* e linguagens padrão comuns para facilitar o compartilhamento e aumentar a interação.

Entendemos, entretanto, diferente de Anderson que devido à natureza e as características desse movimento seria melhor classificado como uma contrarrevolução, pois ele vai na contramão da dinâmica que foi esse período da história e a sua evolução temporal (2ª e 3ª revolução industrial).

O Movimento *Maker* destoa da revolução industrial dentre outras características pelo fato de encorajar as pessoas a: fazerem ao invés de contratarem, produzirem seu utensílio customizado ao invés de comprar uma linha produzida em série, compartilhar seu objeto ou conhecimento ao invés de ter posse e direito a propriedade material ou intelectual, e, por fim, o indivíduo é dono de si mesmo, livre, e não uma engrenagem a ser cooptada pela imaginária sensação de um consumo, “essencial”, que as grandes corporações massivamente tentam colocar nas cabeças das pessoas através de campanhas de marketing.

Essa sedução comercial, que obnubila o indivíduo, chega ao nível de convencê-lo que ele precisa pagar mil e oitocentos dólares em um tênis novo com aparência de destruído como se observa na Figura 1. Salientamos que essa observação não é sobre estética, moda ou preferência, mas certamente um indivíduo *Maker* faria sua própria customização, fosse ela mais destruída ou irreverente que esse exemplar.

² *Maker(s)*: Termo em inglês que em tradução literal significa criador, fazedor, fabricante, autor, entre outros. Por julgar essa e outras traduções em língua portuguesa isoladamente inapropriadas para a essência atribuída ao termo em inglês decidimos manter a denominação *Maker(s)* neste trabalho.

Figura 1 – Tênis novo e destruído



Fonte: (Portal G1, 2022)

Hatch (2014), ao abordar o movimento propõe um manifesto do Movimento *Maker* que descreve as atividades e formas de pensar dos *Makers* em torno de nove ideias básicas: fazer, compartilhar, dar, aprender, ferramentas (ou seja, ter acesso às ferramentas necessárias), brincar, participar, apoiar e mudar.

Para Dougherty (2013) criador da revista, especializada em DIY, *Make Magazine*³, o movimento *maker* incorpora:

- ✓ Os *Makers*, que estão envolvidos em brincar, experimentar e criar;
- ✓ Os espaços *Makers*, como locais para a comunidade *Maker* praticar e compartilhar suas criações;
- ✓ O fazer, atividades focadas em torno de trabalhar e aprender com a tecnologia.

1.2.2. Aprendizagem *Maker*

Blikstein (2013) afirma que os pilares teóricos que fundamentam os pressupostos do aprendizado proporcionado em espaços *Makers*, estão presentes nos trabalhos de Papert, John Dewey e Paulo Freire. Ele justifica então que a fabricação digital e o fazer estão alicerçados em três princípios teóricos: a educação experimental, a pedagogia crítica e o construcionismo.

Blikstein (2013) continua relacionando as teorias aos respectivos teóricos, sendo a educação experimental associada a John Dewey, atribuindo-lhe uma concepção de que a educação deve ser mais experiencial e conectada ao mundo real. A Paulo Freire, Blikstein (2013) atribui a construção curricular significativa, conectada a cultura local da comunidade

³ *Make Magazine*: Revista pioneira especializada na cultura do DIY lançada em fevereiro de 2005 por Dale Dougherty. Inicialmente com publicações bimestrais e posteriormente trimestrais, está atualmente na publicação de número 86 (em setembro de 2023).

com a criação de temas geradores para membros de determinada realidade cultural. Dessa forma a educação era vista por Freire, na ótica de Blikstein (2013), como uma forma de empoderamento onde os indivíduos avançariam de uma consciência real para uma consciência do possível, à medida que percebiam novas alternativas, para além, das situações limitantes. Nessa perspectiva os projetos dos estudantes devem estar profundamente conectados com problemas, seja em nível pessoal ou comunitário, e projetar soluções para esses problemas tornarem-se educacionais e empoderadores.

Por fim, para Blikstein (2013) o terceiro pilar da fabricação digital está no construcionismo de Papert inspirado em Piaget, onde a construção do conhecimento acontece notavelmente bem quando os alunos constroem, fazem e compartilham objetos publicamente. O centro de sua teoria está em como o “fazer” e a fabricação digital significam para a educação e fundamentam o que muitos entusiastas do movimento *maker* propõem, ainda que não estejam cientes disso.

1.2.3. Educação *Maker*

A Educação *Maker* (EM) consiste em se utilizar da Cultura *Maker* (CM) ou do DIY e do Movimento *Maker* (MM) para inserção curricular, de seus pressupostos de aprendizagem, na formação escolar e acadêmica.

Todavia, para Blikstein, Valente e Moura (2020) o MM não é a única das bases fundadoras dessa Educação *Maker*. Eles colocam também nesse escopo os **FabLabs**, ou laboratórios de fabricação digital, pois foram os primeiros espaços institucionais de propagação do MM, sendo o primeiro deles localizado no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) em 2001 criado por Neil Gershenfeld e colaboradores. Em suma, para Gershenfeld (2012), é um espaço que através de ferramentas de fabricação digital, os discentes estudavam as fronteiras entre a ciência física e a da computação.

Blikstein, Valente e Moura, (2020), também trazem outros pilares históricos da EM como a *Maker Feire*⁴ e a *MAKE Magazine*, que popularizaram as práticas do DIY, nos EUA em 2006. Outro pilar importante, considerado pelos autores é o projeto *Fab Learn*, iniciado em 2010, que foi responsável por semear educadores *Maker* e construir os primeiros espaços de EM em diversos países. Entretanto eles também incluem entre os alicerces a fundamentação

⁴ Feira de exposição, onde os *makers* mostram suas invenções. A primeira *Maker Feire* ocorreu em 2006, na *Bay Area*, na Califórnia, EUA. Atualmente existem eventos como esses espalhados pelo mundo.

acadêmica de educadores como Dewey, Freinet, Montessori, Freire e Papert. Sendo esse último o que melhor dialoga com a EM.

Valente e Blikstein (2019), ressaltam, todavia, que existe uma grande dificuldade de relacionar a EM com o currículo escolar. Eles atentam para o risco de se perder nas diversas possibilidades de recursos e esquecer do principal que é gerar aprendizado, dentro de um objetivo educacional. Objetivo esse que, por sua vez, pode diferir de uma escola para outra (Valente; Blikstein, 2019).

Silva (2017), classifica a fabricação digital na educação categorizados sob três vertentes. A primeira é a iniciativa de Paulo Blikstein, chamada de *FabLearn*; A segunda é caracterizada pela abordagem crítica a uma “utopia californiana” de Fonseca e Evangelista; A terceira é a abordagem, para Silva, que reforça o tecnoliberalismo em âmbito da educação, promovida pela *Maker Media Inc.* que detém e promove a *Maker Faire*® e da *Make Magazine*. Ademais, Silva (2017) alega que a vertente *Maker Faire*® leva para uma computação e automação como facilitadores de artefatos que tornam mais eficiente e atrativa visualmente a construção digital, preocupada com uma suposta revolução industrial em curso. Silva (2017) explana que a vertente crítica de Evangelista e Fonseca questiona e provoca o sistema de ensino tradicional, denunciando a contradição de equipamentos como solução definitiva para a educação. Por fim, Silva (2017) conclui que, a *FabLearn* cabe em uma concepção de construção digital mais ligada a autores de uma educação progressista.

O presente trabalho se alinha mais com essa visão Bliksteiniana⁵ de Educação *Maker*, pelo fato de seu idealizador ser um pesquisador cunhado em uma educação pública desde muito cedo, e sempre foi transformado pelas pessoas e pelo uso que estas faziam das ferramentas disponíveis e não pela tecnologia em si mesma.

Nesta pesquisa discordamos da visão já defendida explicitamente por Anderson (2012) e corroborada implicitamente por outros autores, como sendo o Movimento *Maker* uma nova revolução industrial. Preferimos classificá-lo como uma contrarrevolução, pois esse movimento carrega em sua filosofia: o compartilhamento de técnicas, ao invés da propriedade intelectual; a construção individualizada e customizada daquilo que se necessita, ao invés da produção em massa e o consumo desenfreado; e, por fim, a colaboração altruísta, ao invés da prestação de serviço. Em suma trata-se de um movimento quase antagônico aquilo que foi caracterização pela então revolução industrial.

⁵ Bliksteiniana: Oriundo de Paulo Blikstein, professor e pesquisador corresponsável pela difusão do *movimento maker*.

1.2.4. Os Espaços *Makers* e a prototipagem de objetos

A prototipagem consiste no desenvolvimento ou criação de protótipos que são modelos iniciais de alguma coisa que podem ser depois usados como padrão ou até como menor produto viável. Para os pesquisadores do Design ela é uma das etapas que viabiliza a materialização de ideias em soluções e transformá-las em objetos, serviços ou sistemas. (Theis; de Souza; *et al.*, 2022)

Volpato *et al.*, (2010) afirmam que o uso da prototipagem tem aplicações em diversas áreas de tecnologia, como na odontologia, para confecção de próteses, na medicina para estudo prévio antes de intervenções cirúrgicas, na engenharia com modelos em menor escala, na indústria, no desenvolvimento de novos produtos, entre outros. Para eles um protótipo, é, por fim, uma versão ainda inacabada de um objeto, real ou virtual, as vezes em menor escala, que pode ser submetido a testes, avaliações ou medições antes da construção do modelo final.

A prototipagem está na essência da Cultura *Maker*, pois antes de fazer um objeto final normalmente se faz necessário a construção de modelos mais simples e menos refinados. Em seguida submetê-lo a testagem e avaliação, antes de construir a versão final daquilo que se pretende fazer. Em laboratórios *maker* é comum estarmos prototipando algum objeto, pois em geral, eles reúnem a instrumentação necessária para tal ou ao menos reúnem a essência da cultura *maker* que são a criatividade e o engajamento no fazer ainda que com materiais improvisados.

Um dos processos mais utilizados nesses laboratórios é a impressão 3D, que envolve três etapas principais: modelagem, fatiamento e impressão. Na modelagem, o objeto é criado em um software de design tridimensional (3D) como Tinkercad ou Fusion 360. O fatiamento transforma o modelo 3D em instruções para a impressora, utilizando softwares como Cura ou PrusaSlicer. Na etapa de impressão, a impressora 3D constrói o objeto camada por camada, usando materiais como plástico ou resina. Em alguns casos, pode ser necessário um acabamento pós-impressão, que inclui processos como a remoção de suportes e lixamento para melhorar a aparência e funcionalidade do objeto. A grande difusão da Cultura *Maker*, só foi possível devido a criação de espaços físicos que reuniram as condições necessárias para dar vazão a esse movimento. Os laboratórios de fabricação, chamados de **FabLabs**⁶, ou ainda *Hacker*

⁶ FabLabs: Essa denominação é aplicada aos laboratórios de fabricação que estão vinculados a uma rede da FabLab Foundations, onde o primeiro deles foi o CBA no MIT. Outras iniciativas de laboratórios de fabricação que não estejam vinculadas a essa, recebem outra denominação e seguem diretrizes próprias de funcionamento, eventos, cursos ofertados e demais pré-requisitos.

Spaces/Maker Spaces e laboratórios *Maker*, tiveram sua origem em 2001 nos Estados Unidos no *Center of Bits and Atoms* (CBA), no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT, 2001). Atualmente os FabLabs vinculadas ao CBA e outras iniciativas se fazem presentes em vários países do mundo (Pinto; Azevedo; *et al.*, 2018).

Em estudo realizado em 2018, foram mapeados dezessete FabLabs no Brasil, distribuídos em apenas 10 estados brasileiros, sendo apenas um na região nordeste (Pinto; Azevedo; *et al.*, 2018). Nesse sentido, realizamos um breve levantamento em 2022 do número de FabLabs vinculados ao *FabLab Foundations* localizados no Brasil, e encontramos atualmente 140 unidades espalhadas em praticamente todos os estados brasileiros, sendo a região nordeste contemplada em todos os estados. Isso mostra uma expansão desses espaços e sua relevância, em um pequeno intervalo de tempo (em quatro anos cresceu cerca de 720%).

Outras iniciativas aumentaram, também, o número de espaços de fabricação digital de forma substancial, aqui destacamos o edital de criação dos Laboratórios IFMaker que contemplou 41 instituições federais de ensino com 113 laboratórios espalhados em todos os estados brasileiros em 2020. Esse edital de fomento teve por objetivo equipar toda a rede federal de ensino Básico com equipamentos no intuito de disseminar os princípios que norteiam o ensino *Maker*. (Brasil, 2020).

Os FabLabs ou Laboratórios *Maker*, por se tratarem de espaços para produção de manufaturados, eles em geral contam com:

- ✓ kits de ferramentas gerais de construção e marcenaria;
- ✓ kits de prototipação com fios, sensores, Kits LEGO®, LEDs e microcontroladores (tipo Arduíno);
- ✓ Equipamentos para criação, design e impressão de objetos como computadores, impressoras 3D, scanners 3D e Fresadora CNC.

O uso dessas ferramentas, ou outras comumente associados a Cultura *Maker* e seus espaços, podem aparentemente estar distantes do uso e aplicação na Química e no ensino de Química.

Contudo, já há trabalhos no Brasil com uso da Cultura *Maker* nessa área conforme apontam Lima e Brito (2022) em mapeamento sistemático mostrando, no período de 2017 a 2022, sete trabalhos publicados em língua portuguesa relacionando Cultura *maker* e ensino de Química.

Observamos que são poucos trabalhos, mostrando que é uma área que ainda precisar ser explorada para que se possa obter mais dados sobre vantagens e desvantagens de seu uso. Realizando uma busca para entender a natureza de alguns trabalhos que estão sendo realizados

na área destacamos alguns. Como o de Miranda, Arthur e Silva (2021) que utilizou a Cultura *Maker* e o construcionismo de Papert em uma escola técnica de São Paulo, onde os estudantes foram incentivados a desenvolverem jogos de química e posteriormente compartilhá-los com os demais discentes.

Já Ruela, Mateus, *et al.* (2023) trazem, por sua vez, uma proposta *maker* de ensino para formação de professores de química apoiado na pedagogia crítica de Freire (2016) e Giroux (1997), buscando uma aplicação da Cultura *Maker* com viés crítico para que não seja a tecnologia por ela mesma, mas sim buscando atuar na realidade e contexto social.

Gondim, Silva, *et al.* (2023) relatam sobre a implementação de um Laboratório FabLearn em escola municipal de ensino fundamental e suas contribuições para o ensino de ciências sob a perspectiva da Cultura *Maker*, na cidade de Sobral no Ceará.

1.3. História da Educação, da Química e do Ensino de Química no Brasil

Esta seção analisa a história educacional brasileira com foco no ensino de química. Vamos examinar as mudanças que levaram ao cenário atual, comparando práticas passadas e presentes. Esse resgate histórico ajuda a entender os diversos aspectos que influenciam o cenário educacional atual.

1.3.1. Educação e a Química do período colonial ao Império

As primeiras iniciativas de educação formal no Brasil se deram no período colonial por volta de 1552 pela Companhia de Jesus, uma ordem religiosa católica fundada em 1534 cujos membros eram chamados Jesuítas, destacando-se inicialmente aqui no Brasil o Padre Manoel de Nóbrega. Entretanto havia apenas uma formação básica em português, doutrina cristã, e escola de ler e escrever conforme aponta Ghirdelli Jr (2021). Depois o aluno poderia ingressar no estudo da música instrumental e do canto orfeônico. Havia a possibilidade do aprendizado profissional ligado à agricultura ou aprofundar em gramática. Para além disso aqueles mais abastados deveriam ir para a Europa para completar sua formação em outras áreas caso desejassem (Ghirdelli Jr, 2021). Nesse período temos um ensino com objetivos de: catequização e instrução, dominação pela fé e civilizar os índios⁷, explicam Marra e Guilherme (2020). Sendo assim não havia ensino de química ou ciências nesse período no país.

⁷ A luz de hoje o termo mais adequado para “índios” seria “*povos indígenas*”, mas optamos deixar a expressão como a utilizada por Marra e Guilherme, por entender que eles descreviam os objetivos dos jesuítas àquela época em que não existia essa expressão.

O ensino formal de Química no Brasil, começou de forma muito tímida em 1771 através de iniciativa de Marques de Pombal, de nome Sebastião José de Carvalho Neto que foi primeiro-Ministro de Portugal, com a criação do ensino das Ciências experimentais, com o intuito de ingresso na carreira científica ou médica conforme apontam Kruger e Porto (2013).

Isso só foi possível por conta da expulsão do Jesuítas de Portugal, e conseqüentemente do Brasil, e o Marques, que era influenciado por ideias iluministas do período vigente, substituiu o método Jesuítico. As conseqüências da Reforma Pombalina foram: atribuir ao estado a competência em assegurar a educação pública, surgimento de concursos públicos e análise da literatura destinada as escolas, e por fim o desaparecimento das humanidades Jesuíticas no Brasil, aquela para formar o ser cristão, substituído por aulas régias⁸. Estas eram, por sua vez, ministradas por professores leigos, não religiosos, contratados pela coroa portuguesa. A formação completa ainda era destinada àqueles que podiam ir para a Europa afirmam Marra e Guilherme (2020).O cenário na educação brasileira só mudaria com a vinda forçada da família Real Portuguesa ao Brasil em 1808. Podemos aqui destacar reformas educacionais promovidas por Dom João VI, então Príncipe Regente de Portugal apontadas por Marra (2020):

a criação do ensino superior, de cursos profissionalizantes em níveis médio e superior, a criação da Academia Real da Marinha (na Bahia) e, em 1810, a criação da Academia Real Militar (no Rio de Janeiro). [...] é inaugurada – em 1808 – a primeira escola de Cirurgia (na Bahia) e o curso de Cirurgia e Anatomia na cidade do Rio de Janeiro. [...], o curso de Medicina no Rio de Janeiro. [...] o laboratório de Química (Rio de Janeiro, 1812), o curso de Agricultura (1812, na Bahia e 1814, no Rio de Janeiro), o curso de Economia (1808, na Bahia), o curso de Química⁹ e Desenho Técnico (ambos em 1817, na Bahia) e a Escola Real de Ciências, Artes e Ofícios (1816, no Rio de Janeiro) (Marra, 2020, p. 25-26).

No âmbito da Química, as primeiras aulas começam a ser ministradas na Academia Real Militar, em 1811, e nas Escolas de Medicina da Bahia. Podemos destacar também, entre 1812 e 1819, a criação do Laboratório Químico Prático do Rio de Janeiro, com finalidade de desenvolvimento de pesquisa com fins comerciais como análise do pau-brasil a ser negociado com a China, bem como preparação de Ópio, análises de águas sulfurosas e purificação de água ardente (Santos, 2004).

Outro protagonismo está no Laboratório Químico do Museu Imperial e Nacional, criado em 1824 e perdurou até 1931. Durante sua existência, destacam-se análises de combustíveis

⁸ Aulas de Gramática Latina, Grego e Retórica, e, posteriormente Filosofia Moral e Racional, Economia Política, Desenho e Figura, Língua Inglesa, Língua Francesa.

⁹ Curso de Química: A palavra curso aqui está contexto de cadeira de Química na faculdade de medicina, logo servindo à formação de médicos e não de químicos.

naturais, as primeiras perícias toxicológicas do país, análise e reclassificação de minerais, e pesquisas fitoquímicas com espécies da flora brasileira (Almeida; Pinto, 2011).

1.3.2. A educação e a Química na velha república nas ditaduras

Os primeiros cursos de química só se deram no período da República, em 1910, Técnico em Química Industrial na Mackenzie College, que se tornou em 1915 curso superior. Ainda nesse ano foi criada a Escola Superior de Química da Escola Oswaldo Cruz (Almeida; Pinto, 2011).

O aumento nos cursos de química no país se deveu ao artigo intitulado “Façamos Químicos” do farmacêutico formado pela Faculdade de Medicina da Bahia, José de Freitas Machado. Esse artigo foi publicado, em 1918, na Revista de Chimica e Physica e de Sciencias Histórico-Naturaes, sendo atribuído a ele o caráter de certidão de nascimento dos cursos de Química na nação para Santos, Pinto e Alencastro (2006). Nesse artigo de Machado, ele descreve a necessidade da criação de cursos de Química em todo o território nacional.

Em 1918 foi criado o Instituto de Química no Rio de Janeiro, instituição destinada a formar profissionais de Química para a indústria.

A respeito de reformas que impactam a educação e que iriam interferir no ensino básico durante a 1ª República, de 1889 até 1930, tivemos algumas. Iniciando em 1891 a Reforma Benjamin Constant que cria o Ministério da Instrução, Correios e Telégrafos, chefiado por Constant, com o intuito de substituição do currículo acadêmico, que era de cunho humanístico, por um currículo de caráter enciclopédico, com disciplinas científicas. Ela reorganizou o ensino secundário, primário e a Escola Normal; criou o Pedagogium, um centro de aperfeiçoamento do magistério. Como importante contribuição do Ministro Constant e sua reforma foi declarar o ensino “livre, leigo e gratuito” e a divisão das escolas primárias em dois graus, pontua Ghiraldelli Jr. (2021).

A partir daí na educação durante o período da república primeira República, ou República Velha, destacamos alguns eventos no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Reformas Educacionais na 1ª República

Reforma	Modificações na Educação
Código Epiácio Pessoa (1901)	Retirou as disciplinas da área de ciências do currículo (biologia, sociologia e moral), privilegiando as da área de humanas.
Reforma Rivadávia Correia (1911)	Resgatou ideias do positivismo e liberalismo (concedeu total autonomia às escolas), aboliu o caráter oficial do ensino, restabeleceu o propósito de formação científica do aluno secundarista, transferindo o exame de madureza (de admissão) para o ensino superior.
Reforma Carlos Maximiliano (1915)	Instituiu a reoficialização do ensino, reforma do Colégio Pedro II e regulamentação do ingresso nas escolas superiores
Reforma Rocha Vaz/Reforma João Luiz Alves (1925)	Estabeleceu normas regulamentares para o ensino e instituiu a disciplina de Moral e Cívica para apaziguar as desavenças entre os estudantes e o presidente Arthur Bernardes. Além destas, outras medidas foram aplicadas em âmbito estadual, sob a responsabilidade de Lourenço Filho (Ceará, 1923), Anísio Teixeira (Bahia, 1925), Francisco Campos e Mário Casassanta (Minas Gerais, 1927), Fernando de Azevedo (Distrito Federal – Rio de Janeiro, 1928) e Carneiro Leão (Pernambuco, 1928)

Fonte: Adaptado de (Melo, 2012)

Durante o período de 1930 a 1945 o Brasil viveu a ditadura Vargas, que trouxe algumas mudanças no que tange a educação Básica, passando por duas constituições a de 1934 e a de 1937. Apesar das diferenças nas constituições sendo a primeira mais progressista no que tange a educação e a segunda mais conservadora, podemos destacar que em ambas há uma maior interferência estatal no que tange a educação quando comparado a períodos anteriores, pois a trata como um direito de todos promovido pelo estado em conjunto com outras entidades (Romanelli, 2014).

Na era Vargas, em 1931, a Química passou a ser lecionada de forma regular obrigatória no Ensino Básico brasileiro, à época ensino secundário que continha o que conhecemos hoje como Ensino Fundamental 2 e Ensino Médio, com objetivos norteadores de dotar o aluno de conhecimentos específicos, despertar seu interesse pela ciência e correlacionar esses conhecimentos com o cotidiano (Macêdo; Lopes, 2002).

Isso foi possível devido a reforma Francisco Campos de 1931, que dentre outros aspectos, regulamentou o registro de professores para atuar no ensino secundário, devendo para tal o docente ser licenciado pela Faculdade de Educação, Ciências e Letras (Brasil, 1931). Além disso cabe destacar a equiparação de todos os colégios secundários oficiais, mediante inspeção federal, ao Colégio Pedro II, que era a referência para diversos efeitos, bem como autorizou as

escolas privadas a se submeterem a mesma inspeção. Essa reforma teve o mérito também de dar organicidade ao ensino secundário estabelecendo currículo seriado, frequência obrigatória, e dois ciclos um fundamental, de 5 anos, e o outro complementar, de 2 anos, que habilitaria para o superior aponta Romanelli (2014). Podemos inferir a essa reforma o surgimento daquilo que viria a ser chamado de Ensino Científico e atualmente o Ensino Médio.

Os objetivos norteadores do Ensino da Química só mudariam com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação nº 5.692 de 1971, que tornou o ensino profissional obrigatório e conseqüentemente a Química passaria a ter um caráter meramente técnico-científico (Porto; Kruger, 2013). A obrigatoriedade da profissionalização caiu apenas em 1982 diante do insucesso por falta de estrutura e de qualificação para aplicação da lei em todo território nacional (Brasil, 2017).

1.3.3. A educação e a Química pós constituição de 1988

Em 1988 o país entra na sétima e atual Constituição, tendo passado após 15 anos da Ditadura Vargas, 19 anos de Democracia, mais 20 anos de ditadura Militar findada em 1984 e um total de 5 Constituições. Nesta é assegurado a educação como direito de todos e dever do estado e da família em seu artigo 205 (Brasil, 2017).

Para garantir esse direito universal previsto na carta Magna, algumas reformas curriculares foram criadas, como a criação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), proposto pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) em 1996 (Brasil, 1996).

No fim dos anos 1990, o MEC (Ministério da Educação) lança o Programa de Reforma do Ensino Profissionalizante, as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM) e os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) documentos estes influenciados por um movimento mundial de reformas nos sistemas de ensino, buscando atender transformações culturais, sociais e econômicas, para adequar o Brasil a globalização. No que tange o Ensino de Química e seus conhecimentos, a proposta dos PCNEM é que sejam explicitados a multidimensionalidade, o dinamismo e o caráter epistemológico de seus conteúdos (Brasil, 1999). Ocorreram então modificações no currículo dos livros didáticos e nas diretrizes metodológicas, a fim de romper com o tradicionalismo que ainda se impunha.

A LDB, propõe que a educação básica deve suprir os jovens que chegam ao final do Ensino Médio de competências e habilidades adequadas, conduzindo uma formação que permita alcançar os quatro pilares da educação do século XXI: aprender a conhecer, aprender a fazer, aprender a viver juntos e aprender a ser (Márcio, 2011).

Em 2002 foram divulgados os PCN+ (Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais) destinados a gestores e professores de escolas. Estes documentos apresentaram diretrizes mais específicas sobre como utilizar os conteúdos estruturadores do currículo escolar, com o objetivo de aprofundamento das propostas dos PCNEM. Neles um Ensino Médio significativo exige que a Química assuma seu verdadeiro valor cultural enquanto instrumento fundamental numa educação humana de qualidade, constituindo-se em um meio coadjuvante no conhecimento do universo, na interpretação do mundo e na responsabilidade ativa da realidade em que se vive. (Brasil, 2002)

Em 2018 os PCNs (PCN, PCN+ e PCNEM) deram lugar a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento esse que atualmente rege e define o conjunto de aprendizagens essenciais que os alunos devem desenvolver ao longo da Educação Básica (Brasil, 2018).

A BNCC em alguns aspectos tem semelhanças com o PCN no que tange por exemplo a organização de habilidades e competências em de áreas do conhecimento, evidenciando em ambos uma opção por ensino menos disciplinar, entretanto a BNCC evolui em relação ao seu antecessor pois não faz distinção entre as disciplinas, sendo esse um aspecto de ruptura entre os documentos apontam Vieira, Nicolodi e Darroz (2021).

Na BNCC não há um tópico ou capítulo destinado a Química, pois as habilidades e competências que o aluno deve desenvolver e que estão ligados a ela aparecem descritos juntamente com outras em sua grande área, a Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Brasil, 2018).

Mesmo com todos esses ganhos nas últimas décadas o Brasil enfrenta diversas dificuldades, quanto a qualidade da educação, em comparações internacionais como a realizada em 2021 pela IMD *World Competitiveness Center* (2021). A IMD é uma organização fundada na Suíça que avalia há mais de trinta anos a competitividade de empresas e nações através do chamado *World Competitiveness Ranking*. O *World Competitiveness Ranking* se trata de um ranking que avalia de competitividade e prosperidade de uma nação em diversos quesitos inclusive na educação. Nesse critério o Brasil ficou em último lugar na 64ª posição.

Outra avaliação internacional de aprendizado dos estudantes e, conseqüentemente da educação, é o PISA (sigla do inglês com significado: Programa Internacional de Avaliação Estudantes) organizado pela OCDE (sigla do inglês: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) (OECD, 2018). Ela avalia os estudantes com 15 anos de 64 países e em 2018 colocou o Brasil em penúltimo lugar à frente apenas da Indonésia, no quesito alunos com baixa performance em matemática básica, ciências e leitura (OECD, 2018).

Essas dificuldades em diversas áreas básicas do conhecimento como matemática, ciências e leitura afetam substancialmente a aprendizagem do discente no que se refere ao ensino de Química. Em estudo de motivações e dificuldades de aprendizagem em química, Santos e colaboradores (2013), coletaram de estudantes do primeiro ano do ensino médio que as maiores dificuldades estavam na falta de base matemática e depois na complexidade dos conteúdos. Já Melo e Santos (2012) afirmam que as limitações de aprendizado muitas vezes estão ligadas a dificuldades na abstração dos conceitos, compreensão dos conceitos científicos e o surgimento de concepções alternativas.

Cabe aqui destacar os níveis de conhecimento químico apontados por Machado (2004): fenomenológico, teórico e representacional. Sendo o primeiro de dimensão macroscópica associados a fenômenos do mundo real, o segundo de dimensão submicroscópica sendo aqueles que representamos por modelos abstratos, como átomos e moléculas, e o terceiro são aqueles de natureza simbólica relacionados a linguagem Química, como fórmulas e representações.

Oliveira (2010) expõe vários trabalhos que evidenciam que as aulas práticas no ensino de química se mostram um recurso interessante para: o aprimoramento de habilidades individuais, motivar e despertar atenção, desenvolvimento da capacidade de trabalhar em grupo, desenvolvimento da iniciativa pessoal, dentre outros. A autora conclui que a experimentação no ensino de química contribui não só para o aprendizado do conhecimento em nível fenomenológico como também para dialogar e construir esse aprendizado nos níveis teórico e representacional.

Paz e colaboradores (2008) avaliaram os fatores que dificultam o processo ensino e aprendizagem de química em escolas públicas do 2º ano do ensino médio em Teresina, capital do Piauí. Os autores levantaram que apenas 24,5 % dos alunos, em um universo de 220 avaliados, afirmam gostar da disciplina de Química. Temos ainda que estes elencam entre as maiores dificuldades para seu aprendizado dos conteúdos de Química os cálculos (para 68,6%), seguido por 28,2% referente a falta de aulas práticas. Entre os professores questionados, nesta pesquisa, as maiores dificuldades são a falta de interesse dos alunos (50%), falta de recursos (50%) e de estrutura da escola (37,5%) (Paz; Pacheco; *et al.*, 2008).

Dessa forma percebemos que temos no Brasil índices de qualidade na educação ruins comparativamente com outros países. Associado a esse panorama, temos dificuldades de abstração conceitual, provavelmente por falta de modelos que melhor representem os conceitos a serem abordados com os estudantes. Ainda, e não menos importante, as dificuldades na base matemática e científica, bem como na leitura e interpretação. Assim, consideramos importante a necessidade de se investigar novas possibilidades de ensino que melhorem esse panorama.

Nesse sentido, esse trabalho vem ao encontro dessa perspectiva de entender como o uso do movimento *maker* no ensino de química pode influenciar no aprendizado do estudante do ensino básico.

2. METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida consistiu em uma pesquisa participante, qualitativa baseada em estudo de caso. Sua execução se deu com o uso de um recurso pedagógico chamado sequência didática (SD). Nas seções seguintes iremos nos aprofundar no embasamento teórico desse recurso e no objeto metodológico para justificar, e entender como se dá uma aplicação coerente deles, seguido do detalhamento de como se deu cada etapa da aplicação dessa pesquisa, bem como sua coleta de dados.

2.1. Pesquisa Qualitativa

A pesquisa qualitativa se mostra diferente da quantitativa, pois emprega uma abordagem diferente na investigação acadêmica. Ela conta com uma série de concepções filosóficas, estratégias de investigação e métodos de coleta, análise e interpretação de dados (Creswell, 2010). Enquanto na pesquisa quantitativa temos dados e variáveis mais simples de observação, medição e controle, na pesquisa qualitativa temos informações mais complexas de se coletar e interpretar pelo pesquisador. Günter (2006), aponta que na pesquisa qualitativa, na primazia pela compreensão como princípio do conhecimento, se prefere estudar relações complexas ao invés de explicá-las por meio do isolamento de variáveis. Ele apresenta ainda os cinco grupos de atributos que qualificam as características da pesquisa qualitativa: “a) características gerais; b) coleta de dados; c) objeto de estudo; d) interpretação dos resultados; e) generalização.” (Günter, 2006, p. 202).

Dentre as características gerais, destacamos que a pesquisa qualitativa é concebida como um ato subjetivo de construção da realidade e, portanto, a descoberta e construção de teorias são seu objeto de estudo. O objeto de estudo na pesquisa qualitativa, o indivíduo, deve ser analisado com ênfase em sua totalidade dentro de seu contexto histórico e cultural. Nessa perspectiva o todo é maior que a soma das partes e, portanto, compreender esse “todo” dentro do contexto deve ser o foco.

A interpretação dos resultados deve ser realizada tendo a contextualidade como condutor de qualquer análise, não esquecendo que acontecimentos e conhecimentos do cotidiano são elementos a serem considerados na interpretação, que requer uma reflexão contínua no comportamento do pesquisador em sua interação dinâmica com o objeto de estudo.

Por fim a respeito da generalização dos resultados em uma pesquisa qualitativa passa por quatro dimensões sendo eles: a generalização argumentativa, processo indutivo, regras nas

generalizações e quantificação. Portanto para se desenvolver o trabalho com o rigor metodológico necessário, o pesquisador deve definir bem o objeto de estudo, os dados coletados devem estar claros, a fim de se evitar um direcionamento de viés e comprometer a qualidade dele.

2.2. Pesquisa Participante

Para este trabalho será utilizada a observação participante (pesquisa participante). Nela o pesquisador se incorpora ao grupo pesquisado estando próximo a ele, participando das atividades normais deste, desempenhando papel importante nos processos observacionais, no contexto da descoberta, é obrigado a um contato mais direto com a realidade pesquisada, sendo assim, ponto de partida da investigação social (Marconi; Lakatos, 2003). Prestes (2012) afirma que esse tipo de pesquisa é voltado a intervenção na realidade social, caracterizando-se por uma interação ampla e efetiva entre pesquisadores e pesquisados. Buscando também esclarecer a problemática observada, todavia não ficando no nível do simples ativismo, mas objetivando aumentar o conhecimento dos pesquisadores e o nível de consciência dos pesquisados.

Já para Gil (2008), a pesquisa participante é uma metodologia que leva em conta as potencialidades e aspirações de conhecer e agir e que procura incentivar o desenvolvimento autônomo e autoconfiante do grupo estudado. Gil (2008) salienta, todavia, que devido ao envolvimento do pesquisador no processo de pesquisa, há um distanciamento dos princípios da pesquisa científica acadêmica no sentido clássico, levando a uma menor objetividade, porventura, quando comparada a pesquisa empírica tradicional. Entretanto, o relacionamento entre pesquisado e pesquisador não ocorre como mera observação deste por aquele, mas ambos acabam se identificando como sujeitos sociais, desfazendo a ideia que o objeto caberia somente nas ciências naturais (Gil, 2008).

Baseado nesses pressupostos teóricos metodológicos entendemos a pesquisa participante ser a metodologia que melhor se adequa a investigar as nuances de como ocorre a aprendizagem *maker*, haja vista, que ela decorre de uma cultura de compartilhamento, interação e construção social.

2.3. Estudo de Caso

Um estudo de caso, para Menezes (2009), é uma estratégia metodológica em um trabalho científico nas áreas sociais de pesquisa contemporânea que busca investigar o indivíduo ou um grupo específico, chamado unidade de caso, nas questões sociais mais complexas.

Durante muito tempo foi considerado como uma metodologia pouco rigorosa, entretanto, atualmente ela é vista como mais adequada para investigar um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real, onde os limites entre o fenômeno e o contexto social, cultural, entre outros não são claramente percebidos (Yin, 2001).

Algumas objeções são encontradas quanto sua aplicação, devido à falta de rigor metodológico, pois muitas vezes eles não são bem definidos, levando porventura a um direcionamento de viés, comprometendo a qualidade do estudo (Gil, 2002). Todavia, André (2013) destaca que o direcionamento de viés em uma pesquisa, bem como sua qualidade, não tem relação com o tipo de pesquisa, mas com a ética e rigor metodológico do pesquisador.

Creswell (2013) faz uma revisão de estudos de caso qualitativos e compila suas principais características. Ele afirma que é um estudo que começa com a identificação de um caso específico, podendo variar de um indivíduo até uma organização. Creswell (2013) enfatiza que esse estudo tem como objetivo obter uma compreensão aprofundada do caso, requerendo a coleta de vários dados qualitativos. Sua análise pode envolver unidades dentro do caso ou ainda o caso como um todo, contendo a descrição do caso fundamental. Por fim, Creswell (2013), alega que seus resultados podem ser organizados cronologicamente ou por temas, e o estudo geralmente termina com conclusões sobre o significado geral derivado do caso. Construímos o Quadro 2 compilando essas características.

Quadro 2 – Principais características do estudo de caso para Creswell

Aspecto	Detalhes
Identificação do Caso	Começa com a identificação de um caso específico, que pode variar de um indivíduo a uma organização.
Objetivo	Obter uma compreensão aprofundada do caso, exigindo a coleta de vários dados qualitativos.
Análise	Pode envolver unidades dentro do caso ou o caso como um todo, com a descrição do caso sendo fundamental.
Organização dos Resultados	Os resultados podem ser organizados cronologicamente ou por temas.
Conclusão	Geralmente termina com conclusões sobre o significado geral derivado do caso.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022) adaptado (Creswell, 2013)

Na visão de Mattar e Ramos (2021), a metodologia de um estudo de caso é definida de várias maneiras, a depender do autor, pois está em uma miscelânea entre design, foco, estratégia, metodologia e resultado, levando assim, muitos pesquisadores iniciantes a caracterizarem suas pesquisas como tal. Dessa forma Mattar e Ramos (2021), reuniram as ideias de vários autores sobre o tema e encontraram ao menos seis características essenciais de um estudo de caso. De posse dessas informações construímos o Quadro 3 a seguir.

Quadro 3 – Principais características de um Estudo de caso

Característica	Descrição
É uma pesquisa de campo	Envolve a coleta de dados no ambiente natural onde os eventos ocorrem, proporcionando uma compreensão contextualizada do fenômeno estudado.
Há categorias mais amplas, ou um contexto, de que o objeto de estudo é um caso, um exemplo ou uma instância	O objeto de estudo é considerado como um caso, exemplo ou instância dentro de categorias mais amplas, permitindo assim a análise de múltiplos casos para então compreender padrões ou relações mais abrangentes.
O caso deve ser delimitado	É necessário definir e descrever o caso em função de parâmetros específicos, estabelecendo assim seus limites e características distintas.
A investigação sobre o caso deve ser detalhada, rica e conduzida em profundidade	Requer uma análise minuciosa e aprofundada do caso, fornecendo uma compreensão abrangente e detalhada do fenômeno em estudo.
Para atingir essa profundidade, o estudo de caso deve coletar múltiplas fontes de dados	A coleta de diferentes fontes de dados, como entrevistas, observações e documentos, é primordial para obter uma compreensão holística, ampla e robusta do caso.
A análise e interpretação dos dados deve realizar a triangulação entre essas múltiplas fontes de dados	Envolve a comparação e integração de diferentes fontes de dados para corroborar e enriquecer as conclusões do estudo de caso, garantindo maior validade e confiabilidade dos resultados.

Fonte: Adaptado de (Mattar; Ramos, 2021)

Diante do exposto, o presente trabalho consistirá em realizar um estudo de caso, com as implicações pedagógicas no processo ensino aprendizagem, ao se aplicar uma proposta de ensino baseada na aprendizagem *Maker*. A pesquisa foi aplicada em uma turma de alunos do 2º ano do ensino médio de Pernambuco, do curso técnico de mecânica e segurança do trabalho, do Instituto Federal de Pernambuco.

2.4. Universo da pesquisa

Uma das etapas importantes de uma pesquisa é escolha do universo amostral, pois é dele que serão coletados os dados para posterior análise. Dentro desse âmbito Mattar e Ramos (2021), apontam dois grandes grupos de amostra: as probabilísticas e as não probabilísticas.

Mattar e Ramos (2021), explicam que nas amostras probabilísticas todos os indivíduos de uma população têm a mesma chance de compor a amostra em oposição às não probabilísticas. Eles apontam, todavia, que em pesquisas na área de educação em geral não há possibilidade de contar com a amostra probabilística pois normalmente elas são realizadas em instituições escolares, onde os grupos estão organizados em turmas. Nesse caso, eles afirmam, se faz necessário a adoção de critérios para composição dos integrantes da amostrais.

Merriam e Tisdell (2016) , por sua vez, apontam que a definição dos critérios de seleção da amostra precisa considerar quais atributos são essenciais e encontrar pessoas ou contextos que atendam a essas características para contemplar o objetivo do estudo. Já Cohen, Manion e Morrison (2018), enfatizam que as amostras não probabilísticas envolvem um universo amostral pequeno de um grupo particular e não tem a intenção fazer generalizações, sob o ponto de vista estatístico.

A fim de entender e escolher o melhor método de seleção de amostragem para este trabalho, construímos o Quadro 4 e o Quadro 5 contendo respectivamente as características e os tipos de amostras probabilísticas e não probabilísticas.

Quadro 4 – Amostra probabilística em pesquisa e suas características

	Característica Geral	Subtipo	Características
Amostra Probabilística	Amostra formada por integrantes de uma população de forma que todos os indivíduos que a compõem têm a mesma chance de integrar a amostra. Permite generalizações de cunho estatístico.	Amostra aleatória simples	Cada membro de uma população de interesse tem a mesma chance de ser selecionado para compor a amostra. Os membros são listados recebem um número e são sorteados, usando alguma ferramenta que garanta a aleatoriedade do sorteio, desde sortear números de um chapéu até um software.
		Amostra sistemática	A partir de uma lista com os membros de uma população de interesse (P), se identifica quantos membros precisam ser selecionados para amostra (S), então se calcula a frequência (F) com que se extrai um membro presente nessa lista por uma razão ($F = P/S$). Exemplo: Se em uma população de 40 pessoas 10 devem ser selecionadas. A frequência será: $F = 40/10 \rightarrow F = 4$. Logo da lista dessa população devem ser selecionados o 1º, depois o 5º, o 9º e assim por diante, respeitando a frequência a cada 4 membros.
		Amostra estratificada	Se divide a população em grupos e se procede com uma escolha aleatória dentro desses grupos para selecionar os integrantes da amostra. Exemplo: se separa a população em 2 grupos (meninos e meninas). De cada grupo se seleciona randomicamente aqueles que irão integrar a amostra, respeitando a proporcionalidade daquela população.
		Amostra por conglomerado	Quando a população em estudo é muito grande e dispersa e fica inviável e custoso selecionar aleatoriamente os indivíduos se faz a seleção por conglomerado. Exemplo: Para se estudar os estudantes de uma cidade, faz a seleção aleatória de alguns bairros, depois a seleção randômica de algumas escolas e por fim nessas se faz a seleção randômica de alguns estudantes.

Fonte: Adaptado de (Mattar; Ramos, 2021) e (Cohen; Manion; Morrison, 2018)

Quadro 5 – Amostra não probabilística em pesquisa e suas características

Amostra Não Probabilística	Característica Geral	Subtipo	Características
	Integrantes que formam a amostra são selecionados ou obtidos de um seguimento específico de forma que a probabilidade dos indivíduos de uma população a comporem não é a mesma. Em geral são realizadas com um grupo pequeno e não permitem generalizações estatísticas.	Amostra por conveniência	É comumente empregada em estudos qualitativos educacionais, pois seleciona participantes com base na disponibilidade e facilidade de acesso, podendo ser feita através da resposta de questionários ou da inclusão de turmas inteiras em intervenções pedagógicas. Esse uso é especialmente válido para se avaliar alguma estratégia pedagógica ou algum recurso de forma integrada ao currículo no contexto institucional, não sendo possível proceder a um sorteio e aleatoriamente dividir turmas para parte participar e parte não, tanto por questão de organização da instituição e espaço físico como por questões éticas, já que se diferenciariam os participantes.
		Amostra intencional	É composta a partir da escolha manual dos pesquisadores, com base no julgamento da presença e do tipo de características peculiares que seus integrantes necessitam ter para atender a uma necessidade específica da pesquisa, para que seja possível. Ela atende a problemas específicos de pesquisa que, de modo geral, priorizam a maior profundidade, mesmo que não se possa reconhecer sua amplitude.
		Amostra por cotas	Procura selecionar, proporcionalmente, integrantes com características semelhantes de uma população. Para tanto, inicialmente é preciso identificar as características da população, depois identificar a proporção manifesta dessas características, e então definir as cotas para selecionar os integrantes que comporão a amostra.
		Amostra bola de neve	É uma abordagem usada em que há escassez de informação sobre a totalidade da população. Inicialmente, alguns participantes são recrutados e, posteriormente, eles indicam outros para integrar a amostra, até que o tamanho desejado seja alcançado. Esse método é útil para formar amostras em contextos em que o acesso à população é difícil, como em comunidades minoritárias, grupos marginalizados, estigmatizados, "grupos ocultos" ou em contextos onde os membros estão dispersos
		Amostra por saturação	É empregada em estudos qualitativos, particularmente aqueles guiados pela teoria fundamentada. Essa técnica não determina a priori um tamanho específico para a amostra. O pesquisador interrompe a inclusão de novos participantes quando alcança uma compreensão abrangente do fenômeno em estudo ou quando as informações coletadas começam a se tornar repetitivas.
		Amostra de voluntários	É utilizada quando o acesso a participantes com as características desejadas é difícil. Tipicamente, métodos de divulgação como redes sociais, cartazes ou anúncios são empregados para recrutar voluntários. Apesar de ser uma abordagem planejada de amostragem, destaca a necessidade de cautela na generalização dos resultados devido a possíveis diferenças nos motivos para voluntariar-se, o que pode influenciar os resultados, e a possibilidade de a amostra não representar adequadamente a população.

Fonte: Adaptado de (Mattar; Ramos, 2021) e (Cohen; Manion; Morrison, 2018)

Diante da análise de ambos os quadros e com o intuito de alcançar os objetivos dessa pesquisa qualitativa o método de seleção de amostragem escolhido foi a amostra por conveniência. Ela se faz a mais indicada para grupos pequenos em um contexto de sala de aula e integrada ao currículo escolar, para aplicação de um recurso ou metodologia em que não podemos separar indivíduos por questões éticas conforme apontam Cohen, Manion e Morrisson (2018).

Nesse sentido, o pesquisador é o professor da componente curricular da instituição de ensino e os estudantes, por sua vez, matriculados nesse componente, naturalmente se configuram como objeto de estudo quanto da aplicação do ensino de termoquímica baseado na abordagem *maker*. Destarte, não cabe nesse contexto selecionar apenas alguns discentes da turma para aplicação da pesquisa e deixar os demais de fora. Assim, o universo amostral dessa pesquisa será uma turma com 10 alunos dos cursos técnico de Mecânica e Segurança do Trabalho no 2º ano do ensino médio, que estudam, no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco, IFPE. Trata-se de uma instituição recente, pois foi criada em 2008 (Brasil, 2008), que ao longo desse período vem criando sua identidade no ensino básico, técnico, tecnológico e superior. Vale ressaltar que boa parte das dezenas de instituições criadas com essa lei já existiam como escolas técnicas em seus respectivos estados e foram então incorporadas a rede federal de ensino brasileiro.

O número de estudantes foi reduzido para 6 discentes ao longo da pesquisa devido a evasão escolar e/ou reprovação por falta na disciplina. Aos estudantes que permaneceram no universo amostral dessa pesquisa, atribuímos em alguns recortes a identificação dos seguintes símbolos Y, In, Ir, Mo, Md e Rg.¹⁰ Ainda assim, esses que permaneceram no universo faltaram a algumas aulas devido a problemas financeiros para deslocamento a instituição, pela ausência de transporte municipal, falta intencional com o intuito de estudarem para provas e atividades de outras disciplinas e outros motivos pessoais não compartilhados. Esses problemas afetam a qualidade do aprendizado e levam a reflexões para dificuldades socioeconômicas e questões de currículo escolar especialmente em cursos técnicos integrados ao ensino médio.

¹⁰ Tratam-se de símbolos de elementos Químicos: Y – Ítrio, In – Índio, Ir – Irídio, Mo – Molibdênio, Md – Mendelévio e Rg – Roentgênio. Essa escolha é apenas para humanizar um pouco os participantes sem naturalmente identificá-los e consequentemente ferir princípios éticos.

2.5. Etapas da Pesquisa

Afim de atender os objetivos metodológicos do presente trabalho, a pesquisa a ser desenvolvida foi dividida em três etapas: construção de uma sequência didática, aplicação da sequência didática e análise os dados coletados.

2.5.1. Produto Educacional: sequência didática

Uma sequência didática (SD) consiste sistematicamente em um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de alguns objetivos educacionais contendo um princípio e um fim conhecido por professores e alunos (Zabala, 2014).

Atividades ou tarefas são por sua vez, de acordo com Zabala (2014), uma das unidades básicas que compõem o processo ensino e aprendizagem e apresentam, por fim, determinadas intenções educacionais mais ou menos explícitas e podem proporcionar uma análise, ao menos ilustrativa, dos diferentes estilos pedagógicos. As atividades, por si só, são uma parte do todo sendo então incapazes de definir as diferentes formas de intervenção pedagógica. Entretanto quando organizadas em uma série de forma a permitir o estudo e a avaliação da prática educativa sob uma perspectiva processual formam a sequência didática que possui as fases de planejamento, aplicação e avaliação do referido processo e que, para Zabala (2014), constituem uma unidade preferencial para análise da prática educativa.

Um professor de posse de uma sequência didática pode utilizá-la como instrumento guia para conduzir o processo de ensino-aprendizagem com seus alunos, sem deixar, é claro, de adaptá-la a sua realidade e contexto educacional. Dessa forma a sequência didática não é um produto rígido, uma receita, e sim maleável, no qual o professor tem a liberdade de torná-la factível dentro de seu contexto para troca de saberes com os estudantes.

No presente trabalho os objetivos a serem atingidos com a elaboração e utilização da sequência didática foram:

- Promover a aprendizagem do conteúdo desejado.
- Observar se a sequência didática com uso de aprendizagem *maker* facilitaria a aprendizagem dos conceitos de termoquímica.
- Divulgar essa SD com o intuito de disseminar o ensino de química baseado na cultura *Maker*.

2.5.2. Coleta de Dados

Em todo estudo se faz necessário a coleta de dados por parte do pesquisador. Este por sua vez pode se utilizar de diversas ferramentas de coleta de dados. Dentre elas a observação é uma técnica em que o observador se utiliza dos sentidos para obtenção de informações. Marconi e Lakatos (2003) salientam que a observação não consiste apenas em ver e ouvir, mas também examinar fatos ou fenômenos que se desejem estudar. Portanto para se conseguir essa observação e reflexão dos fatos, as aulas serão gravadas para um posterior recorte e extração de trechos, bem como também serão coletados dados pelo professor pesquisador através de anotações em um diário de bordo

Cohen, Manion e Morrison (2018) esclarecem que na esfera educacional a observação se revela uma ferramenta essencial para obtenção de dados no que concerne tanto a estruturação dos ambientes físicos, quanto os componentes humanos englobando interações variadas, tais como formais e informais, deliberadas e espontâneas, e também, verbais e não verbais. Ademais, afirmam eles, está análise compreende recursos disponíveis, estilos pedagógicos, bem como a estrutura curricular.

Além da observação, outra fonte de coleta de dados será a aplicação de questionários para depurar os conhecimentos prévios antes da execução da sequência de aulas e posterior a elas. Menezes (2009) afirma que caso seja necessária a aplicação de um questionário inicial, devemos começar aplicando uma versão piloto, para que o pesquisador identifique possíveis falhas no mesmo. Em caso de falhas terem sido identificadas elas podem ser corrigidas ou reformuladas antes de prosseguir a pesquisa. Marconi e Lakatos (2003) por sua vez destacam algumas vantagens de se fazer uso de questionários dentre elas destacamos: economicidade de tempo e pessoal, maior liberdade e segurança devido ao anonimato, menor risco de distorção pelo pesquisador e maior uniformidade na avaliação devido a impessoalidade.

Marconi e Lakatos (2003) ressaltam, entretanto o cuidado requerido na preparação dos questionários. Elas destacam que o pesquisador deve conhecer bem o assunto para dividi-lo em uma lista de 10 a 12 temas e de cada um extrair duas ou três perguntas. Esse processo de elaboração é longo e complexo e requer cuidado na seleção das perguntas levando em consideração sua importância em obter informações relevantes e em acordo com os objetivos gerais e específicos.

Nesse sentido, no presente trabalho foram elaborados e aplicados 3 questionários em diferentes momentos da pesquisa. Inicialmente realizamos um questionário prévio às aulas da SD com o intuito de saber qual a familiaridade de cada estudante com a termoquímica e a

termodinâmica, como ela afeta o funcionamento de um foguete e qual a familiaridade do estudante com desenho e prototipagem de objetos 3D. Esse questionário se encontra no Quadro 6 a seguir.

Quadro 6 – Questionário Prévio as Aulas no laboratório *Maker*

- | |
|--|
| <p>1) Você já teve contato com a termodinâmica e com a termoquímica antes dessa sequência de aulas? () Sim. () Não. Em qual(is) situações? (ex: aulas de química, aulas de física, vídeos na internet)</p> <p>2) Você sabe como a termoquímica e a termodinâmica podem contribuir no funcionamento de um foguete? () Sim. () Não. Se sua resposta for sim, explique com suas palavras. Se sua resposta for não, você imagina como seria? Se seria possível, comente.</p> <p>3) Você já construiu algum objeto (físico)? () Sim. () Não. Qual e em que situação? Conte sobre essa experiência se foi boa ou ruim.</p> <p>4) Você já utilizou programas de desenho e modelagem de objetos 3D? () Sim. () Não.
Se sim qual(is) programa(s)?</p> <p>5) Você já utilizou alguma impressora 3D anteriormente? () Sim. () Não.
Caso sim descreva: Como foi? O que você imprimiu? Qual a finalidade?</p> |
|--|

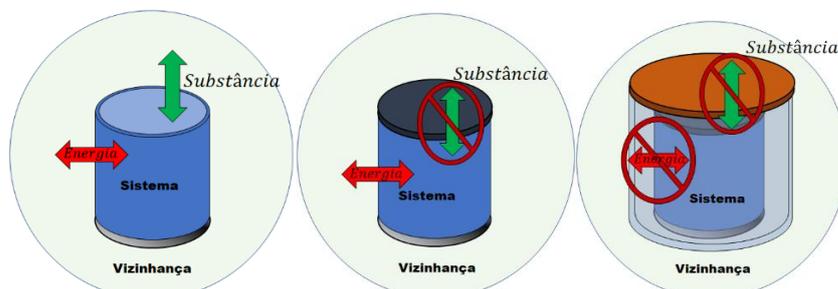
Fonte: Elaboração própria (2022)

O segundo questionário foi aplicado após as aulas expositivo dialogadas iniciais, com o intuito de observar o aprendizado dos conceitos iniciais. Esse questionário se encontra no Quadro 7 e tem como objetivo verificar o aprendizado dos conceitos iniciais de Calor, Energia interna e Trabalho, necessários a uma abordagem da termodinâmica.

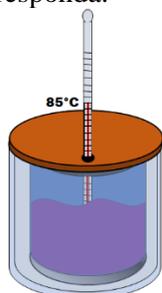
Quadro 7 – Questionário conceitos básicos sobre: Calor, Energia Interna e Trabalho

Aluno: _____ Turma: _____

1) Classifique os sistemas abaixo como **aberto**, **fechado** ou **isolado**. Justifique sua resposta.



2) Ao realizar uma reação química em um calorímetro podemos observar a situação de equilíbrio entre calorímetro e sistema reacional na figura abaixo. O calorímetro estava inicialmente a 25 °C. Considerando tratar-se de um sistema isolado, que a capacidade térmica do calorímetro é de 5 cal/°C. responda:



- Em que sentido se dá o fluxo de calor entre calorímetro e sistema reacional? Justifique.
- Calcule a quantidade de calor trocada entre calorímetro e sistema reacional.
- Qual a variação de energia interna do sistema reacional.

Fonte: Elaboração própria (2022)

Ao final da execução da SD foi aplicado outro questionário com o intuito de entender sobre as facilidades e dificuldades em utilizar a plataforma TinkerCad na modelagem do foguete e as impressões pessoais dos estudantes durante esse processo. Ele se encontra no Quadro 8 adiante.

Quadro 8 – Questionário Após as aulas no Laboratório Maker.

1) Sobre as aulas de termoquímica e termodinâmica ocorridas em sala e no laboratório *Maker* assinale a opção que se enquadra corretamente.

assisti a TODAS as aulas teóricas em sala e a TODAS as aulas de prototipagem no laboratório *Maker*.

assisti a ALGUMAS aulas teóricas em sala e a TODAS as aulas de prototipagem no laboratório *Maker*

assisti a ALGUMAS aulas teóricas em sala e ALGUMAS aulas de prototipagem no laboratório *Maker*

NÃO assisti NENHUMA aula teórica em sala e assisti ALGUMAS as aulas de prototipagem no laboratório *Maker*.

NÃO assisti NENHUMA aula teórica em sala e a TODAS as aulas de prototipagem no laboratório *Maker*.

NÃO assisti NENHUMA aula teórica e NENHUMA das aulas de prototipagem no laboratório *Maker*.

2) Você já havia utilizado programas de desenho e modelagem de objetos 3D? Sim. Não. Se sim qual(is) programa(s) e o que ele(s) se diferencia(m) da Plataforma TinkerCad

3) O que você achou da plataforma TinkerCad? Comente suas impressões.

4) Você acha que o TinkerCad é uma plataforma fácil de utilizar? Sim. Não. Explique sua resposta

5) Você acha que o TinkerCad é uma plataforma fácil para desenhar? Sim. Não. Comente sua resposta.

6) Você criou algum outro protótipo no TinkerCad além do foguete? Sim. Não. Se sim, qual foi o protótipo? Se não, você pensou em algum que poderia fazer depois?

7) O foguete produzido saiu como esperado por você? Sim. Não. Justifique sua resposta.

8) Você ficou satisfeito com o desempenho de seu foguete? Sim. Não. Explique sua resposta.

9) Você acredita que poderia melhorar algo na construção do seu foguete? Sim. Não. Se sim, qual(is) aspectos?

10) Dados os poderes caloríficos superiores (PCS) dos combustíveis abaixo. Qual deles faria seu foguete ter desempenho de voo melhor considerando que usássemos a mesma massa de cada combustível em seu foguete? Justifique sua resposta.

Combustível	Poder calorífico superior (Kcal/Kg)
Etanol	7.302
Gasolina	33.900
Hidrogênio	10.377

Fonte: Elaboração própria (2022)

2.5.3. Análise dos dados

Após a coleta de dados em uma pesquisa, a etapa seguinte é a análise e a interpretação dos dados coletados. Para Gil (2008) a análise deve ter como objetivo organizar e resumir os dados de forma que possibilitem o fornecimento de respostas ao problema a ser investigado. Já Marconi e Lakatos (2003), por sua vez, salientam que o pesquisador deve apresentar todos os

dados pertinentes e significativos ao seu estudo, deixando de lado, seu desejo natural de ver todas suas hipóteses confirmadas.

Gil (2008) afirma, também, que os processos de análise e interpretação de dados variam de acordo com o plano de pesquisa, sendo simples de identificar e ordenar as etapas em estudos experimentais, todavia difíceis em pesquisas sociais como em estudo de caso. Gil (2008) justifica isso no fato do estudo de caso se valer de procedimentos de coleta de dados mais variados e, portanto, poder envolver diferentes modelos de análise. Entretanto reconhece ainda que a análise de dados no estudo de caso tem natureza predominantemente qualitativa.

Dentro desse caráter qualitativo, complexo e multivariado da análise e coleta de dados em estudo de casos, recorreremos a uma abordagem descritiva, que se destina a descrever as características de determinado fenômeno ou a relação entre variáveis em estudos qualitativos. A análise descritiva, conforme detalhado por Creswell (2013), é utilizada para organizar, categorizar e descrever dados de forma a fornecer um entendimento compreensivo dos fenômenos estudados, sem necessariamente aplicar testes estatísticos. Este método é particularmente útil em pesquisas qualitativas, onde o objetivo é compreender em profundidade as percepções, experiências e contextos dos participantes.

Creswell (2013), enfatiza que a análise descritiva permite ao pesquisador apresentar um panorama detalhado do cenário investigado, facilitando a identificação de padrões, temas e categorias emergentes dos dados. Além disso, Patton (2015) acrescenta que essa abordagem promove a análise sistemática dos dados, permitindo que o pesquisador explore profundamente as nuances e a complexidade inerentes aos estudos de caso. A análise descritiva, portanto, oferece uma base sólida para a interpretação qualitativa, alinhando-se com o objetivo de fornecer respostas detalhadas e contextualizadas ao problema de pesquisa.

Adicionalmente, é importante destacar que, para Gil (2008) e Marconi e Lakatos (2003), todos os dados significativos e pertinentes ao estudo serão meticulosamente apresentados. Essa prática assegura que a análise esteja alinhada com os princípios éticos e metodológicos da pesquisa qualitativa, respeitando a integridade e a complexidade dos dados coletados.

Assim, adotaremos uma postura analítica que busca transcender a simples descrição dos dados, engajando-se em um processo interpretativo que visa aprofundar o entendimento sobre o fenômeno estudado. Essa abordagem descritiva, fundamentada nas principais referências metodológicas da análise qualitativa, constitui a espinha dorsal da nossa análise de dados, proporcionando uma compreensão valiosa e contribuições significativas para o campo da Educação *Maker* e o ensino de Química.

2.5.4. Considerações no tratamento de dados dos questionários

Os questionários aplicados foram elaborados para se atingir objetivos distintos, dessa forma abordamos nessa seção os objetivos de cada questionário bem como os critérios escolhidos na avaliação das respostas de cada um.

O questionário apresentado no Quadro 7 como o próprio nome sugere se destina a verificar o quanto o estudante aprendeu dos conceitos iniciais da termodinâmica. Pois os conteúdos escolhidos e propostos na SD têm uma abordagem diferente daquela comumente realizada no ensino médio conforme será mostrado na seção 3.1 e discutido na seção 3.2

Esse questionário é composto de duas perguntas abertas. A questão 1 de cunho teórico versa sobre a classificação dos sistemas em aberto, fechado e isolado e a respectiva justificativa. A questão 2 versa sobre: sentido do fluxo de calor, item (a), cálculo da quantidade de calor trocada, item (b), e variação da energia interna, em (c).

Obviamente para se avaliar quão assertivas do ponto de vista químico as respostas dos estudantes se deram foi necessário adotar um referencial teórico para melhor corrigir as proposições. Dessa forma evitamos viés por parte do pesquisador e maior clareza nos critérios de correção. Para isso adotamos a obra de Atkins, Jones e Laverman (2018) e com ela elaboramos o Quadro 9 contendo as respostas consideradas satisfatórias em cada pergunta do questionário de conceitos básicos de termodinâmica e o respectivo trecho da fonte que embasa a escolha de nossa resposta.

Quadro 9 – Gabarito para questionário de conceitos básicos: Energia, Calor e Trabalho

Questão	Resposta considerada satisfatória pelo professor pesquisador	Conceito extraído da literatura consultada
1	Sistema Aberto: pois pode haver troca de matéria (massa, moléculas ou átomos), bem como troca de energia entre sistema e vizinhanças.	“Um sistema aberto pode trocar matéria e energia com a vizinhança.” (Atkins, Jones e Laverman, 2018, p. 243)
	Sistema Fechado: Pois pode haver troca de energia, mas não há troca de matéria (massa, átomos ou moléculas), entre sistema e vizinhanças	“Um sistema fechado tem uma quantidade fixa de matéria, mas pode trocar energia com a vizinhança.” (Atkins, Jones e Laverman, 2018, p. 243)
	Sistema Isolado: pois não há troca de energia e matéria (massa, átomos, moléculas) entre sistema e vizinhança	“Um sistema isolado não pode trocar matéria nem energia.” (Atkins, Jones e Laverman, 2018, p. 243)
2a	O calor flui do sistema reacional para o calorímetro, pois o sistema estava a uma temperatura inicial maior que o calorímetro, já que após o contato de ambos a temperatura do calorímetro era 25° C e passou a ser 85°, após equilíbrio térmico.	“calor é a energia transferida em consequência de uma diferença de temperatura. A energia na forma de calor flui de uma região de temperatura alta para uma região de temperatura baixa.” (Atkins, Jones e Laverman, 2018, p. 250)
2b	O calor absorvido pelo calorímetro é dado por: $Q_{cal} = C_{cal} \cdot \Delta T = 5 \cdot (85 - 25)$ $Q_{cal} = 300 \text{ cal}$	“Se a capacidade calorífica de um sistema é conhecida, c , a mudança de temperatura observada, ΔT , do sistema pode ser usada para calcular quanto calor foi fornecido, usando a Equação...” “... $q = c \cdot \Delta T$ ” (Atkins, Jones e Laverman, 2018, p. 251)
2c	Por ser um sistema isolado só houve troca de calor entre sistema reacional e calorímetro, logo a soma desses, Q_{sist} e Q_{cal} , é nula. $Q_{cal} + Q_{sist} = 0 \therefore Q_{cal} = -Q_{sist}$ A consequência é que o calor absorvido pelo calorímetro será igual ao negativo do calor do sistema. $Q_{cal} + Q_{sist} = 0 \therefore Q_{cal} = -Q_{sist}$ $Q_{sist} = -300 \text{ cal}$ Como não houve trabalho $\Delta U = Q_{sist} = -300 \text{ cal}$	“A energia transferida para um sistema é representada por q . Quando a energia interna de um sistema se altera por transferência de energia na forma de calor (sem que outro processo ocorra, inclusive expansão ou contração), $\Delta U = q$.” (Atkins, Jones e Laverman, 2018, p. 251)

Fonte: autor (2022).

Para cada questão do questionário serão avaliadas as respostas e classificadas como **Resposta Insatisfatória (RI)**, **Resposta Parcialmente Satisfatória (RPS)** ou **Resposta Satisfatória (RS)**. Os critérios que definem e amparam essa classificação foram definidos no Quadro 10 a seguir.

Quadro 10 – Questionário Conceitos Básicos: critérios de correção

Questão	Critério de correção da questão		
	RI	RS	RPS
1	Não associar as figuras aos sistemas nem definir os tipos de sistemas	Associar as três imagens aos respectivos tipos de sistemas e definir os três tipos de sistema corretamente	Associar as figuras aos sistemas, mas não saber defini-los sejam todos ou uma parte. Saber definir os sistemas, mas não associar todos as imagens.
2a	Não saber sentido do fluxo de calor nem justificar	Saber o sentido do fluxo de calor e saber justificar	Saber o sentido do fluxo de calor, mas não saber justificar
2b	Não saber como calcular a quantidade de calor (fórmula de Joseph Black), nem executar a operação matemática	Demonstrar saber como calcular a quantidade de calor (fórmula de Joseph Black), e executar a operação matemática	Demonstrar saber como calcular a quantidade de calor (fórmula de Joseph Black), não executar corretamente a operação matemática
2c	Não saber a primeira lei da termodinâmica e nem aplicá-la	Saber a primeira lei da termodinâmica e aplicá-la corretamente	Saber a primeira lei da termodinâmica, mas não aplicá-la corretamente

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O segundo questionário aplicado foi o que antecedeu a ida ao Laboratório *Maker* no 5º encontro. Ele se encontra no Quadro 6 o objetivo de sua aplicação foi avaliar o contato que os estudantes já tiveram anteriormente a SD com a termoquímica e com a termodinâmica, bem como se houve assimilação de alguns conteúdos abordados nas aulas de 1 a 4 na SD. Um outro ponto que esse questionário busca avaliar é a familiaridade que o estudante possuía previamente em construir objetos físicos, programas de desenho e modelagem 3D e impressão 3D.

O último questionário foi aplicado após a 8ª aula, finalizado a aplicação da SD. Ele se encontra no Quadro 8 e teve como objetivo avaliar a assiduidade das aulas da SD, a familiaridade prévia com programas de modelagem e sua comparação com a plataforma usada, o TinkerCad, em relação a facilidade ou não de uso. Esse questionário também teve como objetivo entender a satisfação do aluno em relação seu foguete e fazê-lo refletir sobre melhorias em seu projeto com o intuito de entender melhor como foi sua experiência nesse contexto.

Os resultados e análises feitos a partir desses questionários serão discutidos na seção 3.3 do presente trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com essa pesquisa se encontram apresentados nessa seção que se inicia com a descrição do produto educacional, explicação de como decorreram as aulas ministradas e por fim com a análise dos dados coletados nas aulas com os questionários.

3.1. Produto educacional: Sequência Didática

Nesse trabalho construímos um produto educacional no formato de sequência didática. Trata-se um documento similar a um livro que contém instruções para sua aplicação sob uma perspectiva do ensino de Termoquímica amparado nos pressupostos da abordagem *Maker*. Essa SD foi desenvolvida para um público-alvo de professores do Ensino Médio e muito além de servir como um guia contendo os assuntos e ações a serem executados que se encontram no **Quadro 11**, ela traz outras contribuições que auxiliam o docente a lecionar Termoquímica com Ensino *Maker*. O objetivo da criação da SD está em divulgar o ensino ancorado na abordagem *Maker*, isto é, o EQM.

A SD construída e aplicada consistiu em um conjunto 8 aulas de 1 hora cada. As etapas realizadas em cada aula planejada na sequência didática estão descritas no Quadro 11.

Quadro 11 – Sequência didática: assuntos e prática executada

Aula	Assunto(s)	O que será executado?
1 ^a	Introdução a termoquímica e a termodinâmica: - Apresentação da proposta <i>Maker</i> - Conceitos básicos (Calor, temperatura) - Primeira lei da termodinâmica	- Questionário prévio com conhecimentos em termoquímica - Aula expositiva dialogada introdutória a termoquímica (Calor, temperatura, trabalho) - 1 ^a Lei da termodinâmica (vídeo¹¹ apresentado) - Aplicação de Questionário conceitos básicos
2 ^a	Termoquímica: - Primeira lei da termodinâmica - Entalpias padrão, de formação, de combustão	- Aplicação da primeira Lei da termodinâmica em motor de combustão (vídeo¹² apresentado) - Discussão do tema, relacionando com a 1 ^a Lei da termodinâmica. - Explicar os diferentes conceitos de entalpia: padrão, de formação, de combustão. - Resolução de exercícios
3 ^a	Termoquímica: - Estequiometria na termoquímica - Entalpia de combustão - Poder calorífico dos combustíveis	- Discutir comparativamente a partir dos cálculos termoquímicos a eficiência dos combustíveis etanol e gasolina (relação 70%) e relacionar ao preço na escolha de combustível para abastecimento do carro. - Verificar o poder calorífico de outros combustíveis.
4 ^a	Termoquímica: Lei de Hess Funcionamento de foguetes	- Demonstrar aplicação da lei de Hess. - Mostrar funcionamento de foguetes (vídeo¹³ apresentado)
5 ^a	Prototipação de foguetes (aula no laboratório <i>maker</i>)	- Uso da plataforma TinkerCad para desenhar foguetes. (vídeo¹⁴ apresentado) - Observação: necessidade de computadores ou tablets na aula, preferencialmente no laboratório <i>maker</i> .
6 ^a	Prototipação de foguetes (aula no laboratório <i>maker</i>)	- Aula dedicada a construção e impressão de foguete usando as impressoras 3D. (vídeo¹⁵ apresentado) - Professor irá acompanhar o progresso dos grupos.
7 ^a	Prototipação de foguetes (aula no laboratório <i>maker</i>)	- Aula dedicada a construção, impressão e testagem. - Professor irá acompanhar o progresso dos grupos.
8 ^a	Apresentação dos foguetes (aula em ambiente aberto)	Apresentação dos foguetes montados e exposição com voo. Aplicação de Questionário após prototipagem

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A Sequência Didática não se resume as instruções do Quadro 11, pois nela também há explanações sobre a modelagem e desenho 3D na plataforma TinkerCad que foi escolhida para execução da prototipagem proposta na SD.

O principal objetivo ao final da aplicação SD é que os discentes consigam prototipar um foguete e adquirir conhecimento nesse processo. A Figura 2, a seguir, foi adaptada e retirada da

¹¹ Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=U_2AJc1mcas

¹² Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=U11XuiJE0Dw>

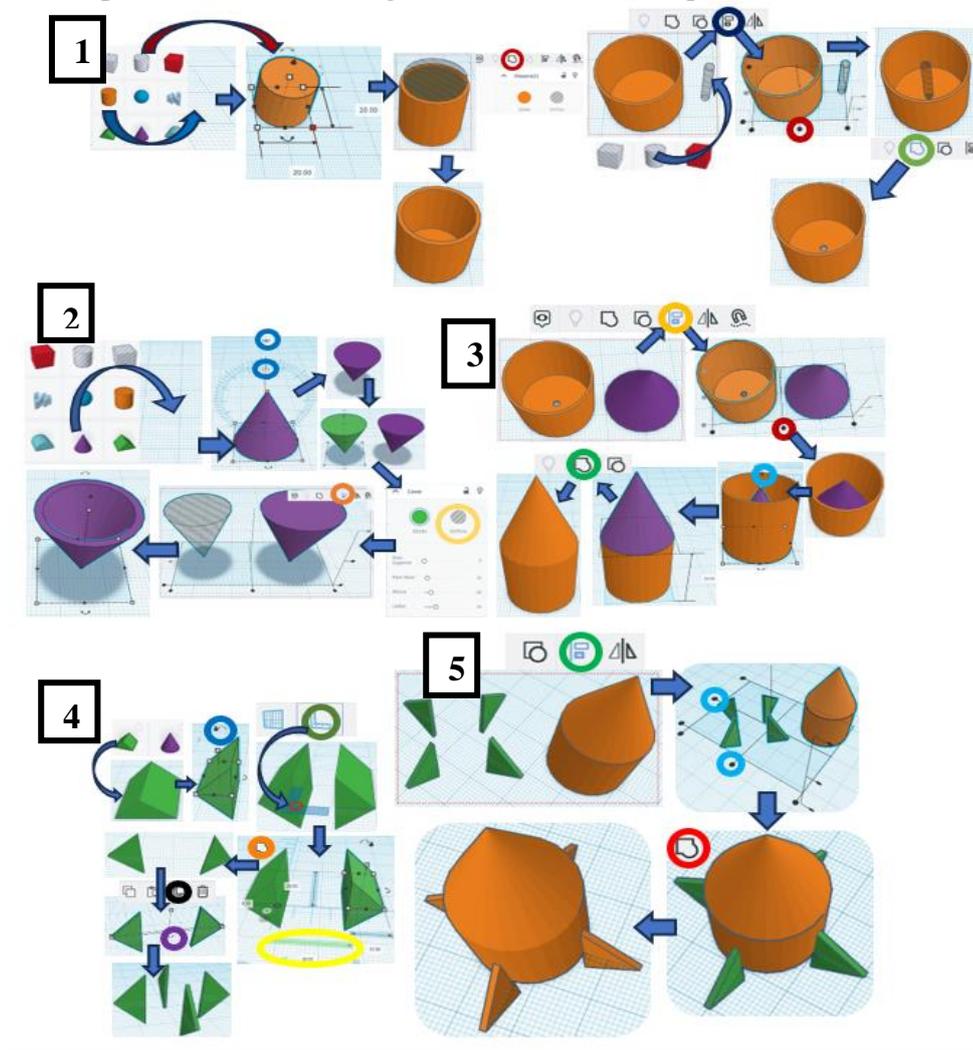
¹³ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=TWRUsaOeNig>

¹⁴ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6kH1CH8GWis>

¹⁵ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6N-F4TZkMXI>

SD e ilustra as etapas que o professor pode seguir para desenhar um foguete e consequentemente ficar apto para guiar os seus alunos nessa tarefa. O papel do professor na aplicação da SD além de ensinar os conteúdos é de guiar e facilitar a construção de um foguete pelos alunos ao final da sequência de aulas. Haja visto que um dos pressupostos do Construcionismo de Papert é que o indivíduo aprende quando constrói e interage com um objeto.

Figura 2 – Resumo de Etapas do desenho 3D de Foguete contido na SD



Fonte: Elaborado pelo autor

As etapas enumeradas representam respectivamente os passos: desenho do corpo do foguete (1), desenho do topo do foguete (2), junção de corpo e topo do foguete (3), desenho das asas (4) e junção das asas ao topo e corpo do foguete (5). A Figura 2 é um compilado de figuras extraídas da SD, sendo originalmente desenhada na plataforma TinkerCad (Autodesk, [s.d]). Em sua totalidade são 21 etapas minuciosamente descritas na SD e aqui se encontram resumidas nas cinco já apresentadas.

A SD contempla também os pressupostos da cultura *maker* com seu histórico e incentiva o professor executar o Ensino *Maker* adaptando de acordo com a disponibilidade de materiais e estrutura disponíveis ao mesmo. Ela traz uma abordagem teórica da termoquímica e da termodinâmica elaborada de forma que faz o diálogo entre autores de livros de Química e Física de nível superior com autores de ensino médio. Buscando dessa forma fazer um destaque das abordagens e transposições entre ambos os níveis, se constituindo assim como fonte de estudo e preparo de aulas para o professor que assim desejar utilizá-la.

Ela constitui também um importante meio de disseminação da cultura *maker* aplicada ao ensino de Termoquímica e está divulgada na plataforma da EduCAPES, no site do LEUTEQ (www.leuteq.ufrpe.br), no site do PROFQUI (www.profqui.ufrpe.br) e também está disponível nessa obra no APÊNDICE C – Produto educacional: Sequência Didática. Dessa forma a SD se constitui uma ferramenta guia para ensino de termoquímica ancorado na Cultura *Maker*.

3.2. Contexto das aulas ministradas e da produção dos foguetes

As aulas ministradas em sala foram expositivas dialogadas com uso de equipamento multimídia para recursos áudio visuais, sendo utilizado slides e vídeos. A sequência completa de slides utilizados se encontra no APÊNDICE A – Apresentação utilizada nas aulas. Para entender como esses slides foram utilizados basta consultar o APÊNDICE B – Explicação das aulas dialogadas deste trabalho e verificar essas informações detalhadas.

Os assuntos e temas contidos nesses slides foram abordados ao longo de quatro encontros iniciais de aplicação da SD¹⁶.

As aulas realizadas no Laboratório *Maker* ocorreram com uso de equipamento multimídia conectado a um notebook do professor, que por sua vez mostrava aos discentes como realizar o cadastro e manipulação das ferramentas de desenho 3D presentes na plataforma Tinkercad, escolhida, para desenho dos foguetes proposto aos alunos.

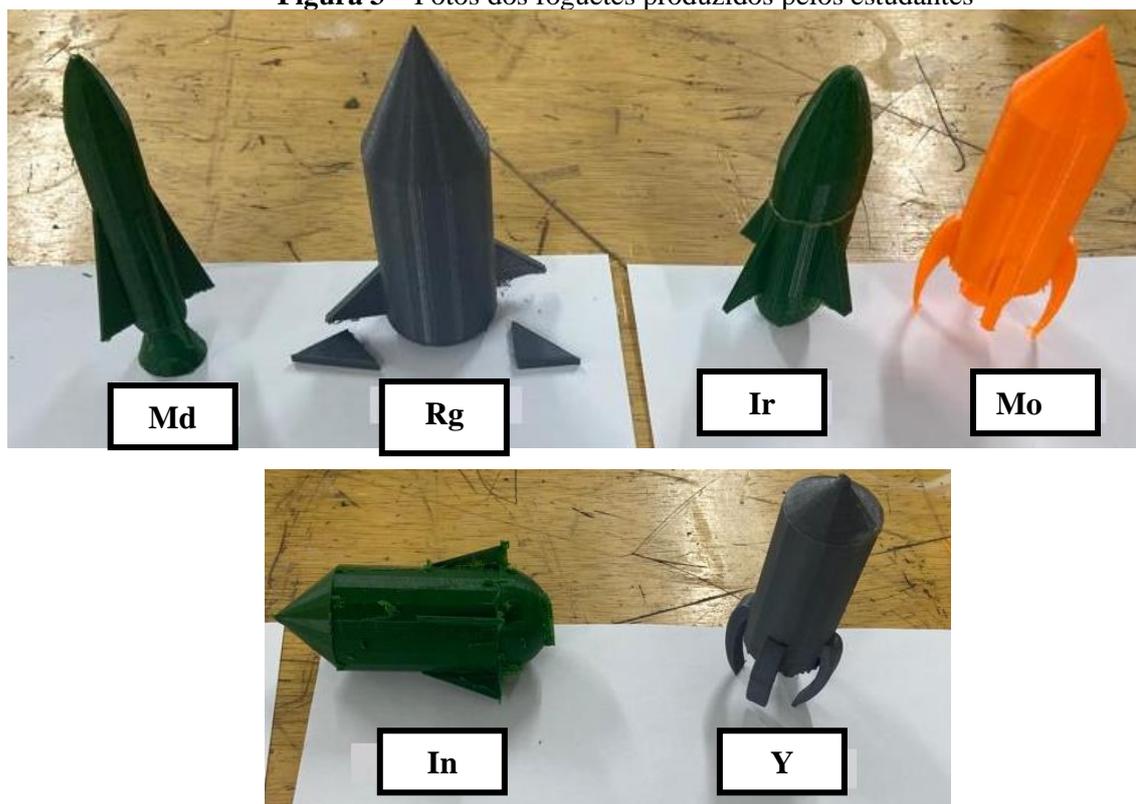
Cada discente dispunha de um notebook, disponível nas instalações do laboratório, para acompanhar e realizar as etapas demonstradas pelo professor para a construção do foguete.

¹⁶ Outros temas foram abordados anteriormente pelo professor pesquisador que se encontrava na posição de professor do componente curricular semestral de nome Química 3. O componente prevê em sua ementa outros assuntos como Soluções, Propriedades Coligativas e Cinética-Química. Esses assuntos, todavia, não foram objeto de estudo pelo pesquisador com a turma.

A impressão dos foguetes nas impressoras 3D foram etapas realizadas pelo professor pesquisador pois o tempo de impressão das peças variava de 4 a 8 horas tornando inviável essa etapa ser executada pelo estudante no tempo de aula.

Os foguetes produzidos pelos estudantes após impressão foram fotografados e se encontram expostos na Figura 3 a seguir.

Figura 3 – Fotos dos foguetes produzidos pelos estudantes



Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Ao observar a Figura 3 e após uma inspeção mais detalhada dos foguetes se observam algumas falhas nas peças. Destas algumas são apenas estéticas inerentes ao processo de impressão, como as sobras de plástico nas peças, rebarbas, que estão sujeitos a fatores como qualidade das impressoras e principalmente dos insumos, comumente afetados por acúmulo de umidade nos filamentos plásticos de impressão. Os foguetes que mais aparentam essas falhas de impressão foram aqueles produzidos pelos discentes Índio (In) e Molibdênio (Mo), conforme podemos observar com mais detalhes nas Figura 4 e Figura 5.

Ao observar o foguete do aluno Índio, Figura 4, podemos perceber rebarbas ao longo de toda sua extensão. Elas se devem a fatores como qualidade dos insumos, mas também a erros no desenho como na conexão entre o topo e o corpo do foguete, pois eles não estão corretamente alinhados.

Figura 4 – Foguete estudante Índio com falhas de impressão



Fonte: Resultado da pesquisa (2023)

Ao observar o foguete do aluno Molibdênio, Figura 5, podemos perceber em sua base rebarbas e que ele está com uma das asas quebrada. Esse erro está relacionado a umidade do filamento plástico, fatores como condicionador de ar soprando diretamente sobre a impressora, dimensionamento das condições de impressão como preenchimento interno da peça incompatível com o tamanho da asa, ou ainda em seu desenho a escolha de uma espessura muito fina para ela, tornando-a frágil.

Figura 5 – Foguete estudante Molibdênio com falhas de impressão

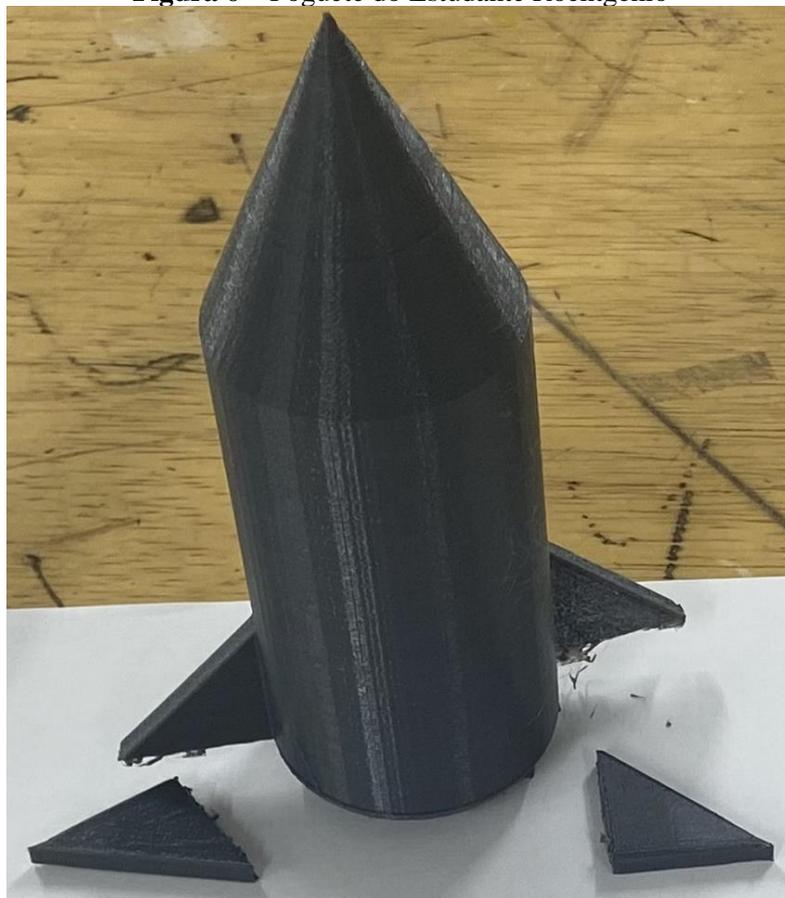


Fonte: Resultado da pesquisa (2023)

Esses resultados de impressão são compatíveis com o tipo de impressão empregado. Já que foram utilizadas impressoras do tipo FDM (do inglês, *Fused Deposition Modelling* ou Modelagem por Deposição Fundida, em tradução livre). Diversas obras, por exemplo a tese de doutorado de Cúnico (2013) ou ainda a dissertação de mestrado de Assis (2018), apontam que apesar da tecnologia FDM de impressão 3D ser a mais popular ela apresenta um baixo nível de acabamento.

Outras falhas estão relacionadas ao desenho propriamente como no caso do estudante Roentgênio (Rg) que não fixou corretamente as asas do foguete no corpo, levando-as a ficarem separadas conforme podemos constatar na **Figura 6**.

Figura 6 – Foguete do Estudante Roentgênio



Fonte: Resultado da pesquisa (2022)

Esse foi um erro grosseiro causado provavelmente devido a inexperiência em desenho 3D do estudante.

Um outro exemplo, não perceptível na Figura 3, ocorreu com o discente Irídio (Ir), que deixou o topo do foguete sem cavidade interna, sendo assim um bloco parabolóide maciço, inviável para decolar pois os foguetes deveriam ser ocos para que fossem preenchidos com

vapor de combustível e após a ignição por um orifício em sua calda decolassem. Outro problema presente em todos os foguetes está na espessura de suas paredes, que em todos se demonstrou demasiadamente espessa, agregando uma massa excessiva aos respectivos foguetes.

A última aula no Laboratório *Maker*, foi para exposição e mostra de voo dos foguetes. Nessa etapa os foguetes não apresentaram desempenho satisfatório devido a fatores como a massa excessiva das paredes, asas demasiadamente grossas, topo sem cavidade ou ainda dimensionamento errado do orifício de ignição. Essas dificuldades foram ocasionadas provavelmente pelas inexperiências em desenho e modelagem 3D dos discentes, mas também nos levam a refletir sobre o currículo escolar que não contempla disciplinas para apropriação das TDIC ou ainda uma abordagem com essa valência nas disciplinas já existentes.

Nesse sentido, a BNCC atribui uma série de habilidades competências que devem ser contempladas no Ensino Médio. No que tange as tecnologias digitais a BNCC direciona a uma visão de protagonismo no uso das TDIC como no trecho em que traz as Competências Gerais da Educação Básica em seu tópico 5º, conforme podemos observar adiante:

Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, **produzir conhecimentos**, resolver problemas e **exercer protagonismo e autoria** na vida pessoal e coletiva. (Brasil, 2018, p. 9, grifo nosso)

No que tange produção de conhecimento, protagonismo e autoria a SD aplicada contempla tais parâmetros da BNCC, embora se configura ação pontual e isolada executada em apenas uma disciplina na escola em questão. Devido à ausência de ações pedagógicas integradas da gestão com o corpo docente, as aulas em geral, são voltadas para preparar os estudantes para avaliações somáticas com resolução de questões similares as que serão cobradas em provas. Os alunos, então, não são indivíduos ativos na construção de seu saber.

A BNCC também aponta para uma “educação para o consumo, educação financeira e fiscal, trabalho, **ciência e tecnologia** e diversidade cultural” (Brasil, 2018, p. 20, grifo nosso). Ainda que a SD aplicada também contemple isso, devido à falta de uma política pedagógica escolar pensada neste direcionamento, temos um ensino escolar voltado para resolver provas, tornando o aluno um ser pouco pensante, ao invés de criativo, automatizado, em vez de autônomo, aprisionado, no lugar de livre. Essas omissões pedagógicas escolares limitam os discentes em sua capacidade de aprender ativamente.

Outras reflexões que podem ser tiradas dos resultados obtidos pelos alunos em seus foguetes estão na necessidade de após a primeira versão, o protótipo, deveria haver outras aulas voltadas para aprimoramento do modelo inicial. Tornando assim possível corrigir os erros no

projeto e se atingir o Mínimo Produto Viável (MVP). Naturalmente essa solução pode acarretar um problema curricular pois, a utilização de mais aulas para prototipagem implicaria necessariamente abdicar de lecionar outros conteúdos previsto na ementa da disciplina. Uma possível solução seria um projeto pedagógico *maker* multidisciplinar ou transdisciplinar, onde a modelagem, produção e exposição dos foguetes pudessem ser trabalhados em várias disciplinas se utilizando da carga horária delas.

Podemos exemplificar essa abordagem pedagógica multidimensional sob várias visões. Por exemplo: Sob a ótica da Física os foguetes precisam de um ângulo de lançamento e precisam ter um centro massa calculado para obter maior alcance; Sob a ótica da matemática quais formas e proporções geométricas ideais para o foguete comportar maior volume de vapor de combustível utilizando menor área e portanto menor massa de plástico; Sob a ótica da História como eram os foguetes da época da corrida espacial na Guerra Fria; Sob a ótica da Biologia como fazer a fermentação para produzir etanol para o foguete e assim sucessivamente.

3.3. Análise dos questionários

Nesta seção iremos apresentar os dados coletados com os questionários aplicados, bem como, fazer o tratamento de dados e sua respectiva discussão dialogando com aquilo que há na literatura a respeito do tema. Faremos essa exposição pela ordem em que foram aplicados, sendo portanto apresentado os resultados obtidos com o questionário sobre conceitos básicos de termodinâmica na seção 3.3.1, seguido do questionário prévio as aulas no Laboratório *Maker* na seção 3.3.2 e finalizando com o questionário aplicado após a atividade no Laboratório *Maker*.

3.3.1 Questionário sobre conceitos básicos de termodinâmica

Em relação ao questionário presente no **Quadro 7** utilizando os critérios de correção determinados no Quadro 10 construímos o Quadro 12.

Quadro 12 – Análise de acertos no questionário conceitos básicos: Calor, Energia Interna e Trabalho

Questão Aluno	Questão 1	Questão 2a	Questão 2b	Questão 2c
Mo	RS	RI	RI	RI
Md	RPS	RS	RI	RI
In	RS	RI	RI	RI
Y	RS	RS	RI	RI
Rg	RS	RS	RS	RS
Ir ¹⁷	–	–	–	–
Tema Abordado	Sistemas classificação	Fluxo de calor	Cálculo Quantidade de calor	Primeira Lei – Cálculo energia interna

Fonte: Autor (2023)

Quando exploramos dados coletados e expostos no Quadro 12, acreditamos que os conceitos teóricos relacionados aos sistemas foram compreendidos, pois todos os estudantes conseguiram defini-los de forma satisfatória. Por exemplo, em sua resposta Roentgênio se referiu aos 3 sistemas (aberto, fechado e isolado) respectivamente como: “Aberto, pois o sistema transfere energia e matéria com a vizinhança” (Rg), “Fechado, o sistema transfere energia” (Rg) e “Isolado, o sistema não transfere nem energia nem matéria” (Rg). Ou ainda o estudante Molibdênio que fez as seguintes colocações: “O sistema aberto, ele troca tanto calor entre o sistema e a vizinhança quanto substância também.” “O sistema fechado ele só troca calor com a vizinhança” “O sistema isolado, ele não troca nem calor e nem substância com a vizinhança” (Mo). Observamos que o estudante Molibdênio utiliza calor no lugar de energia, e, como calor é uma forma de energia consideramos parcialmente satisfatória sua resposta.

As respostas dos estudantes, excetuando Molibdênio (que foi parcialmente satisfatória), são coerentes com o esperado pela literatura, pois quando abordamos um conceito é natural que existam várias concepções alternativas a esse conceito que o estudante traz consigo, conforme aponta Mortimer (2006) ao sugerir o modelo de perfil conceitual.

Nesse modelo ao invés de uma mudança conceitual o autor propõe que os estudantes podem conceber diferentes maneiras de representar o mundo convivendo com as concepções diversas e, em alguns casos, até contraditórias de um mesmo conceito. Esses conceitos são empregados em contextos específicos e diferenciados (Mortimer, 2006).

O conceito de calor, no que diz respeito ao seu fluxo, mostra-se um pouco mais difícil de compreensão, mas ainda assim foi compreendido pela maioria dos participantes, em que 60% dos estudantes responderam satisfatoriamente à questão 2a. Destacamos aqui as respostas consideradas satisfatórias dos estudantes: “Do sistema para o calorímetro, pois o calorímetro

¹⁷ Nessa aula o estudante Irídio não compareceu.

“aumentou de temperatura” (Rg), “Do lado quente para o frio, as diferenças de temperatura induzem o fluxo de calor” (Y) e “Do sistema para o calorímetro. O calorímetro estava em temperatura ambiente, quando foi colocado no sistema a temperatura sobe para $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ” (Mo). Os demais estudantes não responderam à pergunta 2a e por isso consideramos as respostas como incorretas.

Pesquisas indicam a existência de diferentes concepções de energia entre estudantes do ensino médio, mostrando que o conceito de calor está entre as mais frequentes. A título de ilustração Cordeiro (2014), investigou as concepções de energia mais frequente entre estudantes, na qual Calor está entre elas, identificando que 11% dos estudantes analisados entendem energia como calor.

Este entendimento variado sobre energia, observado nos estudantes pesquisados, ecoa achados similares de Simões Neto (2016), que notou a diversidade nas interpretações de conceitos de energia entre os alunos. Simões Neto (2016), explora como alunos alternam entre entender energia em termos mecânicos e como manifestações cotidianas, como o calor. Isso mostra a polissemia dos conceitos científicos, que podem ser aplicados de formas distintas conforme o contexto. A associação do 'calor' como 'energia' pelos estudantes ilustra como concepções alternativas e científicas coexistem, enfatizando a importância de um ensino que valorize a diversidade conceitual.

Apesar de uma maior taxa de acerto nas questões 1 e 2a, outro cenário foi observado quando nos debruçamos sobre questões que envolvem algum tipo de fórmula físico-química ou cálculo matemático, ainda que bem simples como nos itens 2b e 2c, observamos uma taxa de respostas insatisfatórias de 80%. Apenas o estudante Roentgênio respondeu satisfatoriamente às questões, como podemos observar nas resoluções a seguir: “ $Q = C \cdot \Delta T \rightarrow Q = 5 \cdot (85^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) \rightarrow 5 \cdot 60 = 300\text{ cal}$ ” (Rg, Questão 2b) e “ $\Delta U = Q + W \rightarrow \Delta U = 300 + 0 \rightarrow \Delta U = 300\text{ cal}$ ” (Rg, Questão 2c).

O estudante Roentgênio mostrou o entendimento na aplicação das fórmulas, inclusive na unidade das grandezas que estava calculando. Ainda que em 2b ele não tenha colocado a unidade da capacidade térmica, em sua resposta final ele apresentou a unidade correta de calor, em calorias. Esse estudante também soube aplicar a primeira lei da termodinâmica e interpretou corretamente que não havia trabalho de expansão ou contração no problema apresentado e consequentemente a variação de energia interna era igual ao calor trocado.

Analisando as 4 respostas insatisfatórias percebemos que dois estudantes (In e Md) não escreveram suas respostas. O aluno Molibdênio, por sua vez, no questionamento 2b calculou a variação de temperatura, ao invés do calor trocado: “ $\Delta T = 85 - 25 = 60^{\circ}\text{C}$? dúvida” (Mo, em

2b). Esse mesmo estudante no item 2c calculou a quantidade de calor, escrevendo: “ $Q = 5.60 = 300$? dúvida” (Mo, em 2c). Percebemos que Mo, não soube então relacionar com a primeira lei da termodinâmica e afirmar categoricamente que a quantidade de calor trocada era igual a variação da energia interna.

O estudante Ítrio respondeu na questão 2c da seguinte maneira: “Inicialmente $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Q = m \cdot C \cdot \Delta T$; $Q = 25 \cdot 5.85 = 10625$ ” (Y em 2c). O estudante Y, na pergunta 2c utilizou a temperatura inicial do calorímetro, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, como se fosse a massa e a calorífica térmica como se fosse capacidade calorífica específica e a multiplicou pela temperatura final de equilíbrio. Dessa forma, percebemos que ocorreu um equívoco de fórmula a ser utilizada, ou do significado físico de cada grandeza descrita na fórmula.

Esses resultados corroboram com os dados de Rodrigues, Rodrigues e Rodrigues (2020), ao discutirem as dificuldades que estudantes de Química do 2º ano do ensino médio apresentam para entender essa disciplina. Os autores levantaram o que os discentes acham mais complicado de entender dos assuntos de Físico-química do 2º ano do ensino médio. Nesse sentido, Rodrigues, Rodrigues e Rodrigues (2020), observaram que 81% dos pesquisados apontaram as deduções de fórmulas como o mais difícil. Dessa forma a dificuldade com as fórmulas apresentada pelo estudante Ítrio se configuram em outros universos de estudantes como o da pesquisa de Rodrigues et al. (2020).

Outros trabalhos apontam na mesma linha de resultado, como estudo feito por Silva (2013) em que estudantes do 3º ano do Ensino Médio, relatam como maior dificuldade em química os cálculos, configurando nesse achado 51% da amostra discente.

Esse fator corrobora também com os resultados em exames internacionais dos estudantes brasileiros como o PISA expostos na seção 1.3.

3.3.2 Percepções dos estudantes anteriores as aulas no Laboratório *Maker*

Em relação ao questionário prévio as aulas no Laboratório *Maker* (Quadro 6) aplicado antes da 5ª aula da SD, as respostas dos estudantes foram coletadas e organizadas no Quadro 13.

Quadro 13 – Análise de questionário prévio as aulas no Laboratório Maker

Questão Aluno	1	2	3	4	5
Mo	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Md	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
In ¹⁸	–	–	–	–	–
Y	Sim	Sim	Não	Não	Não
Rg	Sim	Sim	Não	Não	Não
Ir	Não	Não	Sim	Não	Não
Tema Abordado	Contato com termoquímica e termodinâmica	Conhecer como termoquímica pode contribuir no funcionamento de foguetes	Já construiu algum objeto físico	Utilização de programas de desenho 3D	Utilização de impressora 3D

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Em relação a primeira pergunta (você já teve contato com a termodinâmica e com a termoquímica antes dessa sequência de aulas? Em qual situações?) observamos que 80% dos estudantes, 4 de 5, já haviam tido contato com a termoquímica e a termodinâmica. Olhando as respostas em que eles descrevem a situação que se deu esse contato, constatamos que três discentes (Md, Rg, Mo) relataram que foram em aulas de Química 3 (Quadro 14).

Quadro 14 – Questão 1 contato anterior com a termoquímica e termodinâmica

Aluno	Respostas
Mo	“Aulas no período passada em Química III”
Md	“Nas aulas de Química III, e em alguns vídeos da internet”
Rg	“Eu já tive aulas de termodinâmica em outros períodos dessa mesma matéria”

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Logo tratava-se de alunos que já haviam cursado a disciplina e que estavam cursando novamente, agora com o professor pesquisador. Isso nos leva a inferir que estes estudantes já tiveram ou ainda tem alguma dificuldade em aprender a disciplina. O aluno Ítório, por sua vez relata que teve contato “em vídeo aulas e com o professor R... de Física do campus” (Y).

A segunda pergunta serviu para ver a percepção adquirida pelos estudantes em relação as aulas de termoquímica e termodinâmica contempladas nos 4 primeiros encontros da SD. Dos seis estudantes quatro (Y, Md, Mo, Rg) relataram saber como a termoquímica e a termodinâmica poderiam contribuir para no funcionamento de um foguete. Esses relatos se encontram no Quadro 15.

¹⁸ O estudante Índio não estava presente nesse dia.

Quadro 15 – Questão 2 como a termoquímica contribui no funcionamento de foguetes

Aluno	Respostas
Mo	“Para saber o quanto de energia era preciso para empurrar o foguete, gerando uma certa energia”
Md	“A termoquímica fala basicamente da quantidade de calor que uma reação produz ou libera, produz e libera energia na forma de calor.”
Y	“Lei de Newton: Para se mover para cima, os foguetes expõem para baixo enormes jatos de gás aquecido”
Rg	“Podemos perceber que a combustão provoca junto com a energia interna em trabalho”

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Ao analisar as respostas do Quadro 15 podemos perceber que parte dos conceitos de conversão de energia estão presente nas respostas de Mo e Rg. Assim como a lei de ação e reação de Newton, é mencionada por Y. O estudante Md sabe que a energia provém do combustível, mas não faz referência a primeira lei da termodinâmica. Os demais estudantes não sabiam explicar o funcionamento de foguetes com leis da Físico-Químicas.

Observando o Quadro 15 podemos perceber que alguns conhecimentos científicos, da física, termoquímica e da termodinâmica são usados pelos discentes, mas ainda necessitam de maior vivência para uma compreensão mais ampla e uma maior apropriação da concepção científica frente a não científica. Em outras palavras ainda há uma dificuldade a ser superada que as aulas expositivas dialogadas não foram capazes de transpor.

Essa dificuldade de compreensão plena dos conceitos termoquímicos e termodinâmicos se aproximam de relatos encontrados em outros trabalhos, como o de Rodrigues, Rodrigues e Rodrigues (2020). Os autores levantaram que para os alunos de ensino médio investigados a maioria, 61%, considerava a Química do 2º ano do ensino médio mais difícil.

Naturalmente essa inferência que fizemos com a literatura é indireta, pois a obra supracitada não fez o levantamento de quais temas do 2º ano do ensino médio de química eram considerados pelos estudantes os mais difíceis. Entretanto como a termoquímica está entre os assuntos abordados nessa série entendemos que tem sua parcela de relevância nesse prospecto.

Ressaltamos também que não são tão frequentes obras que façam levantamentos dos assuntos considerados mais difíceis pelos estudantes. Todavia, alguns trabalhos podem ser aqui comentados. Em estudo de caso sobre as dificuldades no ensino aprendizagem de química com discentes do 2º ano do ensino médio em escola pública, Gomes e Costa (2022) mapeiam os relatos dos investigados, dos quais 67% consideram eletroquímica o assunto mais difícil. Os autores discutem que a falta de base matemática é o principal motivo para esses apontamentos

dos educandos, pois os demais assuntos considerados difíceis, pelos alunos, também requerem uma base matemática.

Outra pesquisa conduzida por Tomaz (2022) com alunos de 2º e 3º ano do ensino médio sobre a importância da experimentação no ensino de química e os desafios durante o ensino remoto em uma escola pública de João Pessoa/PB, mostrou que naquele contexto a termoquímica foi considerado o assunto de maior dificuldade pelos alunos de 2º ano. No que diz respeito aos alunos de 3º ano, a termoquímica ficou na segunda posição dos tópicos de maior dificuldade, perdendo apenas para eletroquímica.

Podemos então inferir com as respostas coletadas e mostradas no Quadro 15, que não há um domínio pleno das concepções científicas acerca da termodinâmica e da termoquímica por parte dos estudantes, havendo assim dificuldades em seu aprendizado. Todavia, quando comparamos a outros trabalhos, como os de Rodrigues et al. (2020), Gomes e Costa (2022) e Tomaz (2022), percebemos que essas dificuldades vêm de problemas com matemática e requerem soluções amplas relacionadas a ela, mas dialogadas com várias áreas do saber, como: carga horária de matemática no ensino fundamental e médio, assuntos mais relevantes a serem ensinados, metodologias de ensino mais eficazes nesta seara, entre outras.

A terceira pergunta de questionário teve como objetivo verificar alguma experiência *maker* vivida pelo estudante. As respostas daqueles que relataram algo se encontram no Quadro 16.

Quadro 16 – Questão 3 Experiência *maker* anterior

Aluno	Respostas
Mo	“Fiz algumas pipas para mim e amigos, gostei bastante de fazer as pipas”
Md	“Já construí um binóculo e uma arma, apenas de brinquedo. Ambos foram construídos com rolos de papel, pintei e comecei a brincar. A experiência com certeza foi muito boa, como tinha feito pela primeira vez estava naquela animação”
Ir	“Eu já fiz uma pipa”
Rg	“Nunca passei por um experimento semelhante”

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Ao analisar as respostas do Quadro 16 percebemos que dentre aqueles discentes que detalharam sua experiência anterior em fazer algum objeto, dois deles, Mo e Md, o fizeram trazendo informações com elementos sociais, no trecho “... para mim e amigos...”(Mo), e também emocionais como em “...gostei...” (Mo) e “foi muito boa” (Md).

Esse registro obtido dos estudantes Mo e Md, mostra de forma evidente a importância do brinquedo e da ludicidade no desenvolvimento infantil, tal como apresentado e defendido na obra de Vygotsky (1994). Uma vez que, tanto a construção de pipas compartilhadas com amigos, como a criação de um binóculo e uma arma de brinquedo, demonstra: a interação social,

a experimentação criativa e a imaginação. Sendo esses, portanto, os três fatores essenciais do brincar segundo Vygotsky (1994). Finalmente, Vygotsky (1994) afirma, sobre o papel fundamental do brinquedo no desenvolvimento infantil, que essas experiências promovem habilidades cognitivas, sociais e emocionais.

Sob a ótica de Papert em sua obra “*Mindstorms: Children, Computers, And Powerful Ideas*”¹⁹ (1993), o aprendizado ocorre melhor quando as crianças estão envolvidas em atividades exploratórias e mãos na massa, no qual elas podem construir, experimentar e criar. Ele também enfatiza a importância da tecnologia como uma ferramenta para ampliar o potencial criativo das crianças, o que pode ser comparado à experiência de construir brinquedos usando materiais simples. Portanto, as falas dos discentes refletem, na obra de Papert (1993), a ênfase na aprendizagem baseada em construção de projetos e na capacidade dos indivíduos se tornarem construtores ativos de seu próprio conhecimento, ainda que este, seja um relato de uma experiência vivida fora de um contexto intencional pedagógico.

O quarto questionamento (Você já utilizou programas de desenho e modelagem de Objetos 3D? Se Sim qual(is)?), e o quinto (Você já utilizou alguma impressora 3D anteriormente? caso sim descreva: Como foi? O que imprimiu? Qual a finalidade?) tinham a finalidade de entender a experiência e familiaridade anterior do estudante com as ferramentas de fabricação digital, ou seja, software de desenho 3D e Impressora 3D. Todos os presentes responderam não terem tido contato com esses recursos anteriormente, nos revelando estarem desfamiliarizados com a prototipação digital. Destarte esse teste, prévio as aulas no Laboratório *Maker*, nos permitiu traçar um perfil do alunado como pouco experiente em práticas *Maker* e inexperiente com as ferramentas de fabricação digital.

Cabe salientar que posteriormente percebemos que os estudantes Molibdênio não entendeu plenamente essa quarta questão pois em questionário posterior, conforme iremos mostrar na próxima seção, ele afirma já terem tido contato com o AutoCad.

3.3.3 Percepções dos estudantes após a atividade no Laboratório *Maker*

O questionário aplicado após as aulas de fabricação digital no Laboratório *Maker* contou com dez questões (Quadro 8). As respostas das questões fornecidas, foram compiladas de forma

¹⁹ *Mindstorms: Children, Computers, And Powerful Ideas*: em tradução livre: “Tempestade de idéias: Crianças, Computadores e ideias poderosas.”

sucinta e seus respectivos temas abordados se encontram descritos no Quadro 17 para uma visualização geral mais ampla.

Quadro 17– Análise do questionário após as aulas no Lab *Maker*

Questão e Tema	Aluno	Mo	Md	In	Y	Rg	Ir
1) Assiduidade as aulas da SD		Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial
2) Experiência prévia com modelagem 3D		Sim. AutoCad tem comandos em inglês	Não	Sim	Não	Não	Não
3) Impressões da plataforma TinkerCad		Sim	Fácil, Simples	Fácil	Difícil, Gostou	Diferente	Difícil
4) Facilidade de uso do TinkerCad		Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim
5) Facilidade de Desenhar no TinkerCad		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
6) Criação/ possibilidade de outro protótipo além do foguete no TinkerCad		Não	Não	Não	Não	Não	Não
7) Expectativa do foguete foi conforme esperado		Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
8) Satisfação com desempenho do foguete		Não	Não	Sim	Sim	Não	Não
9) Melhorias na construção do foguete		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
10) Aplicação de poder Calorífico de combustíveis		RS	RS	RPS	RS	RS	RPS

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Os objetivos das questões de 1 a 9 são para entender a experiência do usuário com modelagem 3D em especial com a plataforma TinkerCard utilizada, além de verificar a assiduidade nas aulas da SD. A questão 10 procurou ver o aprendizado qualitativo sobre Poderes Caloríficos Superiores (PCS) e sua aplicação em um foguete, sendo o único item desse questionário que cabe uma classificação de resposta como Satisfatória (RS), Insatisfatória (RI) ou Parcialmente Satisfatória (RPS).

O tema PCS foi abordado na SD, mas convencionalmente não é visto no ensino médio. Diante da abordagem *maker* proposta, o autor incluiu na SD e achou pertinente verificar seu aprendizado no teste, por julgar que faz sentido essa aprendizagem em torno do funcionamento de foguetes.

Ao analisar as respostas do questionário após as aulas no Laboratório *Maker* (Quadro 8), a primeira questão versava sobre as frequências dos estudantes durante as aulas de termoquímica e termodinâmica ocorridas em sala e no Laboratório *Maker* (Questão 1). Os dados revelam que todos os estudantes obtiveram assiduidade parcial, pois, todos marcaram

que perderam algumas aulas teóricas, mas não perderam nenhuma aula de modelagem 3D. Esse pode ser um dos motivos que ocasiona o não entendimento pleno dos conteúdos e conceitos trabalhados na SD e averiguados no questionário de conceitos básico (Quadro 7). Essa inferência vai ao encontro dos achados de Melo et al. (2022), que demonstraram haver uma significância estatística entre rendimento escolar e assiduidade e não existe uma diferença estatística entre rendimento escolar e ocorrências disciplinares.

Com relação a pergunta 2 (Você já havia utilizado programas de desenho e modelagem de objetos 3D?), observamos um público pouco experiente com modelagem, pois apenas dois dos seis estudantes (33%) já haviam tido contato com programas de desenho 3D. Os relatos de alguns estudantes foram: “Eu já utilizei o AutoCad, e o que diferencia o Autocad do TinkerCad é que o Autocad para se fazer algum tipo de modelagem tem que colocar comandos em inglês, já no Tinkercad não precisa escrever comandos” (Md), “Nunca utilizei plataforma semelhante” (Rg) e “Apenas TinkerCad” (In).

Reparamos aqui uma incoerência no relato do estudante Molibdênio, pois o mesmo havia respondido no questionário prévio as aulas no Laboratório *Maker*, na questão 4, não ter utilizado programas de desenho e modelagem 3D e no questionário após as aulas no Laboratório *Maker* ele afirma já ter utilizado AutoCAD. A mudança nas respostas do Molibdênio sobre o uso de softwares de modelagem 3D entre dois questionários pode ser explicada pela teoria de ‘satisficing’ de Krosnick (1999), que sugere que o nível de engajamento e atenção do respondente influencia suas respostas e pode variar conforme o contexto. Após usar o TinkerCad, o estudante reativou memórias de experiências passadas com o AutoCAD, demonstrando como uma experiência recente com um software similar pode reforçar lembranças de ferramentas utilizadas anteriormente. Esse processo ilustra como o contexto e a familiaridade com o tema abordado podem aprimorar substancialmente a qualidade das respostas em pesquisas.

Destacamos ainda, no relato do estudante Molibdênio (Mo) que menciona em sua resposta ter experiência com AutoCAD, que a diferença está no fato de no AutoCAD ser necessário dar comandos em inglês e o TinkerCad não precisa dar comandos. Essa fala mostra que a plataforma escolhida para modelagem 3D durante aplicação da SD é percebida pelo usuário que já tem alguma experiência com outros meios de desenho 3D como sendo mais fácil de ser usada e manipulada, por questões de idioma e também pelo mecanismo de desenho. De modo a corroborar com essa facilidade, observamos que ao consultar portais de busca especializada em trabalhos acadêmicos encontramos diversas obras que se utilizam dessa plataforma (TinkerCad) como ferramenta para se introduzir o usuário no desenho 3D e

desenvolver diversos estudos. A título de ilustração, Ferreira e Silva (2021) desenvolveram com estudantes do 6º ano ensino fundamental, a produção de maquetes virtuais para uma estação de tratamento de água desenvolvidas pelo TinkerCad.

O Questionamento 3 (O que você achou da plataforma TinkerCAD? Comente suas impressões.), aborda as impressões gerais que os estudantes tiveram ao usar o TinkerCad. Alguns relatos desses se encontram no Quadro 18.

Quadro 18 – Questionário após aula em Lab. *Maker* – 3) impressões do TinkerCAD

Aluno	Respostas
Mo	“É uma plataforma bem legal, é fácil de usar para pessoas que nunca usaram programas de modelagem 3D.”
Rg	“Eu achei algo totalmente diferente, entretanto preciso melhorar”
Y	“Bem interessante, apesar da dificuldade, mas gostei bastante da experiência.”
Ir	“A princípio, eu achei um pouco difícil, mas com o tempo já estava bem mais fácil de usar a plataforma.”
Md	“Quando abri a plataforma achei ela uma das plataformas mais simples que tem, e fáceis de usar. Quando comecei a construir o foguete meio que me senti no futuro, pois a sensação de estar utilizando a plataforma tinkerCad, passa essa sensação de estar mexendo em tecnologias super avançadas.”
In	“Achei fácil de utilizar”

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Com base nos dados coletados e expostos no Quadro 18 em relação às impressões do TinkerCad, é possível relacionar as respostas dos estudantes com algumas teorias.

O estudante Md, ao mencionar suas sensações ao “*construir*” o foguete e seu sentimento ao lidar com a tecnologia, remete aos ambientes construtivistas pensados por Papert (1986) e a relação do indivíduo com a programação, uma vez que ao programar o computador, a criança “**adquire um sentimento de domínio** sobre um dos mais modernos e poderosos equipamentos tecnológicos e estabelece um contato íntimo com algumas das ideias mais profundas da ciência, da matemática e da arte de **construir modelos intelectuais**” (Papert, 1986, p. 17 e 18, grifo nosso).

O relato do discente Md, vai ao encontro da obra de Papert (1993) no sentimento de domínio da ferramenta tecnológica. Ainda que o estudante não esteja programando ao usar o TinkerCad nessa SD realizada, mas ele está construindo, materializando, seus modelos mentais e impondo sua vontade ao computador, dando o *input*²⁰, sendo assim ativo no uso dessa ferramenta para construir seu conhecimento na produção de um foguete tal como ele imaginou.

²⁰ Input: termo de origem inglesa que em tradução livre seria entrada. Ele é usado na tecnologia da informação (TI) quando nos referimos a inserção de dados, geralmente em um computador, e que a partir desse input o

Ainda no relato do Md ao usar o TinkerCad, sua comparação de se sentir no “*futuro*” pode ser relacionada a teoria sociocultural de Vygotsky (2007). Sob a ótica vygotskyana, as emoções desempenham um importante papel na aprendizagem, influenciando a motivação e o engajamento dos estudantes. O entusiasmo de Md sugere um forte componente emocional na interação com a plataforma, enquanto que a sua comparação com algo futurista pode indicar uma internalização cultural de ideias relevantes. Dessa forma, a experiência de Md destaca como as emoções e o contexto sociocultural podem moldar a percepção e o envolvimento dos estudantes com tecnologias educacionais como o TinkerCad.

As dificuldades inicialmente enfrentadas pelo discente Ir utilizando o TinkerCad podem ser compreendidas à luz da obra de Piaget (1970) sobre equilibração cognitiva. Nesse processo, os indivíduos tentam ajustar suas estruturas mentais existentes com novas informações ou experiências. No caso do Ir, as dificuldades iniciais se configuravam um desequilíbrio entre suas concepções prévias e as demandas para domínio da plataforma. No entanto, com o tempo e a prática, ele se adaptou e desenvolveu novas habilidades, alcançando assim um estado de equilíbrio cognitivo em relação ao uso do TinkerCad. Esse processo de adaptação é fundamental para o desenvolvimento cognitivo, conforme proposto por Piaget (1970).

Em relação ao questionamento 4 (você acha o que o TinkerCad é uma plataforma fácil de utilizar?), as respostas revelam que 67% dos estudantes consideraram o TinkerCad uma plataforma fácil de utilizar. Essas respostas convergem com os achados de Loss e Benini (2019), na qual avaliaram 25 plataformas gratuitas tipo CAD (*Computer Aided Design*) para desenho 3D, utilizando diversos critérios de avaliação das plataformas, tais como aprendizado, estabilidade, usabilidade, dentre outros. O TinkerCad recebeu a mais alta avaliação, indicando que há uma facilidade de aprender usando a plataforma devido ao seu layout simples e intuitivo (Loss; Benini, 2019).

Em suas respostas os estudantes afirmaram que: “Sim. É bem fácil de se usar, até com um tutorial no Youtube com um único vídeo, pode até aprender sozinho por ser fácil de usar” (Mo), “Sim. É muito fácil de usar pois tem poucas ferramentas e a pessoa aprende rápido e divertido” (Ir) e “Sim. Comparando o TinkerCad com outras plataformas, ele não precisa colocar comandos, o modo de se mover e ajeitar a forma do objeto a ser construído é algo que

computador irá fornecer o *output*, a saída de informações, como resposta aquilo que foi solicitado. Quando se fala de programação o programador ensina ao computador que tipo de informação a máquina receberá de entrada (*input*) e que resposta o computador irá fornecer (*Output*). No contexto que usamos essa palavra foi mais subjetivo e menos técnico, uma de figura de linguagem, expressando que o estudante estava fornecendo ao computador as informações de como ele imaginou o objeto e a máquina estava executando. O estudante estava comandando, dominando, a máquina e não o oposto.

me marcou, justamente porque não teve que colocar e fazer várias coisas, para fazer o formato de uma peça” (Md).

A percepção positiva de Ir sobre a praticidade e simplicidade da ferramenta sugere que ela possui uma interface intuitiva e com isso minimizando as barreiras cognitivas e facilitando a aprendizagem criativa conforme apontado por Papert (1980) e Blikstein (2013) além de poder proporcionar experiências positivas e estimuladoras. Já a observação de Md destaca a importância da usabilidade, de um sistema ou produto, e experiência do usuário, para contribuírem para um design eficaz (Norman, 1988; Tidwell; Brewer; Valencia, 2020).

Por outro lado, os estudantes que consideraram o ThinkerCad difícil de utilizar mencionaram que “tive bastante dificuldade na modelagem por não saber visualizar as dimensões e as visões da imagem” (Rg) e que era “difícil de utilizar, mas acredito que trabalhando novamente, talvez conseguiria ter um desempenho melhor” (Y). As dificuldades apresentadas pelos estudantes Rg e Y evidenciam a necessidade de desenvolver habilidades de visualização espacial, ressaltando a importância do desenvolvimento da percepção visual na aprendizagem de desenho e modelagem 3D (Piaget, 1970; Uttal; Meadow; *et al.*, 2013).

Todas essas percepções ressaltam que precisamos considerar as necessidades individuais dos estudantes de forma a garantir um aprendizado mais eficaz no contexto da cultura *maker*.

A pergunta 5 (Você acha que o TinkerCad é uma plataforma fácil para desenhar?) aborda a opinião dos estudantes sobre a facilidade de desenho na plataforma escolhida. Os resultados coletados se encontram no **Quadro 19**.

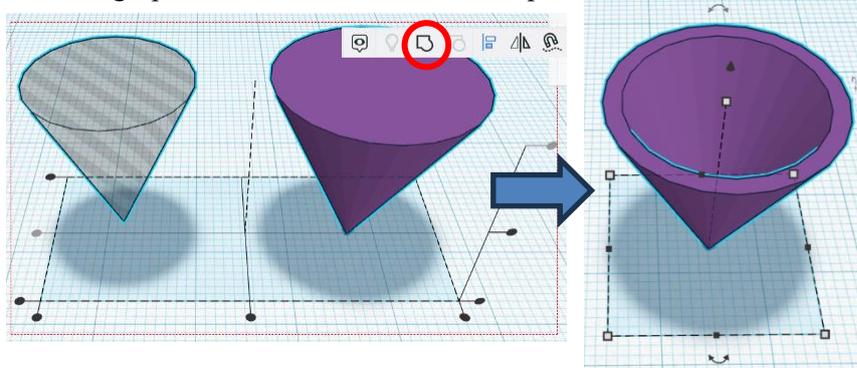
Quadro 19 – Questionário após aulas no Lab. *Maker*– 5) Facilidade de desenho no TinkerCAD

Aluno	Respostas
Mo	“Sim. Porque não precisamos ser um especialista e desenho 3D. Sabendo o básico a pessoa consegue desenhar várias coisas dentro do TinkerCad”
Rg	“Sim. A plataforma nos permite editar os objetos já presentes no aplicativo”
Y	“Sim. Tem várias funções, modelos e as formas ajudam bastante”
Ir	“Sim. Muito fácil, mas requer atenção de quem está desenhando.”
Md	“Sim. Ele é simples, é só clicar no objeto, seja ele quadrado ou triangular. É só clicar se precisar cortar o objeto apertando somente uma função e pronto já fez o formato desejado do seu objeto, é rápido simples, sem muitos detalhes.”
In	“Sim. É simples, não precisa praticar muito”

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Ao analisarmos as respostas observamos que todos os estudantes acharam a plataforma fácil para desenhar. Um dos motivos expostos foi de o layout ser simples e dos ícones do TinkerCad descreverem as operações que serão realizadas na plataforma. O estudante Md, por exemplo, ao mencionar que “é só clicar no objeto seja ele quadrado ou retangular...” ele está se referindo as funções de geometrias básicas da plataforma. Já no trecho “É só clicar se precisar cortar o objeto apertando somente uma função”, Md está se referindo ao botão “agrupar” utilizado em conjunto com duas formas geométricas uma selecionada como “sólido” e a outra selecionada como “orifício” e dessa forma fazendo o recorte. A Figura 7 exemplifica a operação descrita pelo discente.

Figura 7 – Agrupando “Orifício” com “Sólido” para fazer recorte no desenho 3D



Fonte: Sequência didática elaborada durante a pesquisa (2022)

Na Figura 7 observamos na sequência um cone como “orifício”, em cinza, um cone “sólido”, em roxo, e o botão “agrupar”, circulado em vermelho. Após a centralização dos dois cones, com o mouse, e o uso do botão “agrupar” o resultado é um cone cortado por outro cone, ou sob outra ótica, um copo cônico ou ainda o topo de um foguete.

Essa facilidade relatada por Md bem como sua memorização do uso da ferramenta não apenas destaca a usabilidade do TinkerCad, mas também o domínio de estudante sobre ela, contribuindo para o desenvolvimento de competências cognitivas fundamentais em um ambiente educacional construcionista como os imaginados por Papert (1980).

No que diz respeito à questão 6 (Você criou algum outro protótipo no TinkerCad? se sim qual? Se não pensou em algum que poderia fazer depois?), seu intuito é identificar se os estudantes apresentaram algum interesse de usar o TinkerCad em outros projetos. As respostas dos estudantes foram transcritas no Quadro 20.

Quadro 20 – Questionário após aulas no Lab. *Maker*– 6) criação de protótipo ou interesse posterior

Aluno	Respostas
Mo	“Não. Ainda não pensei em nada ainda, mas pretendo fazer uma peça para decoração do meu quarto ou alguma peça funcional.”
Rg	“Não. Eu aperfeiçoaria o foguete já criado para que ele pudesse decolar.”
Y	“Não. Um carro ou Skate.”
Ir	“Não.”
Md	“Não. Poderia fazer um objeto complexo, já que na plataforma seria bem fácil de se fazer, um exemplo disso seria um motor ou um chassi de um automóvel. ”
In	“Não. Ainda não tenho uma idéia, mas espero ter.”

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Os resultados demonstram que apesar da facilidade de uso e modelagem 3D relatados pelos próprios estudantes, não houve criação de outro(s) protótipo(s) usando TinkerCad. Entretanto, alguns estudantes relataram interesses de possíveis usos da ferramenta. Mo demonstrou o interesse em criar peças para decoração ou funcionais, refletindo um pensamento criativo e utilitário em relação ao uso da plataforma. Temos aqui uma abordagem com os princípios do movimento *maker*, apontado por Dougherty (2013), que promove a criação de objetos tangíveis para diversos fins. Já Rg demonstrou o interesse numa abordagem de aperfeiçoamento de seu projeto, indicando a intenção em aperfeiçoá-lo para alcançar melhores resultados. Essa atitude está alinhada com o processo iterativo de design, que segundo Kolko (2015), os refinamentos contínuos dos protótipos são feitos para se atingir determinados objetivos. Segundo Md há um interesse em desenvolver projetos complexos, como um motor ou chassi de automóvel, usando ferramentas de modelagem digital. Esse interesse destaca tanto o engajamento do estudante quanto o potencial educativo dessas ferramentas para fomentar habilidades técnicas e criativas conforme aponta Blikstein (2013). Entendemos assim, que as respostas dos estudantes à pergunta sobre futuros projetos no TinkerCad evidenciam um alinhamento claro com os princípios construcionistas e com o aprender fazendo.

Quando questionados se “O foguete saiu como esperado por você?” (pergunta 7), a maioria dos estudantes (67%) responderam que não tiveram suas expectativas atendidas com o foguete. Um dos principais motivos observados foi devido a erros na modelagem dos foguetes que os tornaram pesados para voarem. Outro problema detectado foi a existência de orifícios de ignição dos foguetes modelados com tamanho inadequado para voo. Algumas respostas foram: “Não. Pois não teve êxito a decolagem” (Y), “Não. Deveria sair melhor porquê ele não voou” (Ir) e “Não. Como construí o foguete pela primeira vez, não tinha experiência suficiente, então eu fiz o melhor possível, tanto que eu fiquei com uma grande esperança de que ele voasse.

Mas não chegou nem a se mexer, justamente por falta de experiências com construções de protótipos, especificamente o protótipo de foguete” (Md). A fala de Md justifica a falta de experiência na construção do protótipo, porém o estudante não seguiu as especificações disponibilizadas para a construção do foguete, levando-o a ficar muito pesado a ponto de não sair do lugar.

Para Mo o foguete saiu como esperado embora não tivesse “esperança que ele decolasse muito, ou pudesse ir longe, no máximo que ele desse uma rápida combustão” (Mo). Já In respondeu que “Sim, Não. O motor ligou então foi um pouco do que eu queria” (In). A aceitação de sucessos parciais, como observado por In, sugere que progressos incrementais são significativos (Halverson; Sheridan, 2014), uma vez que este processo educativo não apenas desenvolve habilidades técnicas, mas também promove uma mentalidade de aprendizado contínuo.

Destarte, destacamos que os relatos dos estudantes quanto ao desempenho dos foguetes reforçam a importância da experimentação, do erro e da reflexão na educação *maker*. A divergência entre as expectativas e os resultados enfatizam a relevância do processo de aprendizado sobre o produto final, ressaltando a aceitação do fracasso como crucial para o desenvolvimento cognitivo (Papert, 1980). Ademais, Pinto et al. (2023) destacam que os resultados de uma atividade *maker* vai além das características do objeto ou de sua funcionalidade, mas pelo fator motivacional da prática e do protagonismo proporcionado aos estudantes sob a ótica da cultura *maker*.

No que diz respeito à satisfação com o desempenho do foguete (Pergunta 8), os estudantes apresentaram diferentes opiniões. Segundo In “Sim. Por ter sido a primeira vez, sim! Fiquei satisfeita” e para Y “Sim. Por ser a primeira vez, eu já teria em vista que não poderia decolar, mas até que não foi tão ruim e aprendi com o erro em relação ao decorrer do projeto do foguete”. A satisfação expressa por Y e In, apesar dos resultados não ideais, resalta a importância da experimentação e do aprendizado com os erros, conceitos que Papert (1980) considerou basilares no construcionismo. Essas experiências mostram que o aprendizado, no construcionismo, é um processo reflexivo e iterativo que gera engajamento, mas que não se revela apenas no sucesso, mas também na capacidade de enfrentar e aprender com a frustração.

Outros estudantes indicaram que não ficaram satisfeitos com o desempenho do foguete, como o caso de Ir que respondeu “Não. Ele não saiu como eu imaginei” e Rg “Não. Seria melhor se decolasse”. Já Mo demonstra que, embora não tenha ficado satisfeito com o resultado, iria buscar aperfeiçoar o protótipo para alcançar seu objetivo: “Não. Tentarei melhorar mais esse protótipo, para tentar fazer ele decolar nem que seja um pouco” (Mo). A disposição de Mo

para melhorar o protótipo reflete uma abordagem construtiva ao fracasso, um aspecto central do aprendizado proporcionado na elaboração de projetos (Halverson; Sheridan, 2014). A análise das reações dos alunos ao desempenho de seus foguetes ilustra o valor intrínseco do processo de aprendizagem na educação *maker*, uma noção profundamente enraizada nas obras consultadas.

Ao responderem à questão 9 (Você acredita que poderia melhorar algo na construção do seu foguete?), os estudantes evidenciaram que todos acreditavam que poderiam melhorar algo na construção do foguete (Quadro 21).

Quadro 21 – Questionário após aulas no Lab. *Maker*– 9) Crê em melhorias na modelagem do foguete

Aluno	Respostas
Mo	“Sim. Tentar diminuir o espaço do orifício de saída de gás, aumentar mais um pouco o tamanho, aumentando mais um pouco o volume”
Rg	“Aumentaria o volume, reduziria o diâmetro da abertura e posicionaria corretamente as asas do foguete”
Y	Sim. A parede, talvez seja esse o problema, Apesar da parede ter ficado bem fina.
Ir	“Eu melhoraria tudo e fazia tudo do zero.”
Md	Sim. Por falta de experiência eu poderia melhorar especificamente as medidas em geral. Já que tendo todas as medidas corretas, altura, volume e diâmetro
In	Sim. Ficou com muito vazamento, então eu podia ter melhorado isso

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

A reflexão do estudante Mo sobre a necessidade de melhorias na construção do foguete (Quadro 21), reflete não apenas a natureza iterativa da educação *maker*, mas também se alinha com os princípios educacionais enfatizados por Dewey (1938) e Freire (2018). Em Dewey (1938), por sua ênfase na aprendizagem por experiência, defendendo o processo reflexivo e prático como essencial para a educação, entendendo a experiência direta e a experimentação como cruciais para o aprendizado significativo. Com Freire (2018) na ênfase da importância do diálogo e da reflexão crítica sobre essa experiência. Destarte, a resposta de Mo aponta para um estudante que é encorajado a questionar e refletir sobre sua prática, em busca de transformação.

Além disso, a abordagem de Mo para a revisão do projeto do foguete ressoa com as ideias de Blikstein (2013), que destaca a importância da fabricação digital e do fazer na educação para o desenvolvimento do pensamento crítico e da criatividade. Blikstein (2013), argumenta que atividades *maker*, como a construção de foguetes, permitem aos estudantes se engajarem profundamente com o material, promovendo uma compreensão mais rica dos conceitos científicos e técnicos através da prática.

Por fim, na décima pergunta (Qual combustível faria seu foguete ter desempenho de voo melhor? Dados os poderes caloríficos superiores), trata de uma aplicação do conceito de poder calorífico superior e que buscava averiguar se os estudantes sabiam aplicar um conceito termoquímico nos seus foguetes, portanto uma aplicação tecnológica.

Observamos que a maioria (67%) dos estudantes (Mo, Rg, Md e Y) conseguiram responder de forma satisfatória a pergunta e os demais (Ir e In) apresentaram respostas parcialmente satisfatória. Em relação as respostas consideradas satisfatórias (RS), algumas foram: “A gasolina. Porque com a mesma massa de gasolina teria liberado mais energia do que o etanol e hidrogênio. Com a queima dos gases desse combustível” (Mo), “A gasolina seria o melhor combustível por ter o maior poder calorífico” (Rg), “De acordo com as informações que a tabela dá, seria a gasolina, já que como explicado na aula , a gasolina entra em combustão, libera uma grande quantidade de energia na forma de calor, liberando mais energia do que as demais, “etanol e hidrogênio” assim a combustão da gasolina causaria uma grande e maior pressão que as demais” (Md) e “No meu ponto de vista seria a gasolina por ter um poder calorífico maior” (Y). Ao escolherem a gasolina, tendo como apoio os PCS (Poderes caloríficos superiores), os alunos demonstraram a integração efetiva de conceitos termoquímicos em um contexto prático, refletindo os benefícios da abordagem *maker* na educação.

Este método pedagógico, apoiado por Blikstein (2013) e fundamentado nos trabalhos de Papert (1980), Freire (2018), Dewey (1938), dentre outros, ressalta a importância da experimentação, do por a mão na obra e da reflexão crítica. Por meio da experiência no Laboratório Maker, os estudantes além de aprofundarem seu entendimento científico, também desenvolveram habilidades essenciais de pensamento crítico e resolução de problemas, fundamentais para o campo STEM (do Inglês, *Science, Technology, engineering and Math*). Destarte, a escolha dos estudantes reforça o valor da educação *maker* como um meio essencial para conectar teoria e prática, promovendo um aprendizado profundo e engajado Blikstein (2013). Um dos motivos para isso tenha sido devido a assiduidade dos estudantes que não faltaram as aulas no Laboratório *Maker*, embora tenha ocorrido algumas faltas nas aulas que antecederam a ida a esse espaço. Possivelmente, o fator engajamento esteja relacionado a assiduidade, e, conseqüentemente, promovendo um melhor aproveitamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho pode contribuir de forma significativa no intuito de encontrar novas abordagens para o ensino de termoquímica, bem como encontrar a melhor forma de inserir as tecnologias incorporadas ao Movimento *Maker* nas escolas. Inserção essa que não se caracteriza meramente pela tecnologia findada em si mesma, mas sim, um recurso capaz de melhorar o aprendizado dos estudantes.

Essa pesquisa também pôde analisar a capacidade transformadora da cultura *maker* em gerar maior engajamento dos estudantes em seu aprendizado e no desenvolvimento não só dos conteúdos escolares, mas também da capacidade de assumir protagonismo no seu processo de ensino e aprendizagem. Agregando assim, ao estudante, a capacidade de inovação e de se apropriar da cultura digital, não apenas como consumidor, mas como produtor dela.

Os resultados dessa pesquisa, como o produto educacional no formato de Sequência Didática, são elementos incentivadores para potencializar cada vez mais cada o uso da abordagem *maker* e seus laboratórios, por todos os professores, em especial os de Química, mas não como um recurso tecnológico que precisa ser usado, mas sim como um ambiente de apropriação cultural e produção de saber, de forma que esses recursos que chegam nas escolas saiam do ostracismo de um mero espaço físico, mas que sejam ambiente de uso cotidiano da comunidade escolar.

A Sequência Didática se mostrou um produto viável, pois atendeu ao objetivo que se propôs no sentido de viabilizar uma alternativa ao ensino de termoquímica que configura uma área de bastante dificuldade de aprendizado para os estudantes de ensino médio.

Os resultados da Sequência Didática implementada confirmam que a prática *maker* pode efetivamente facilitar o ensino de termoquímica, uma área tradicionalmente desafiadora para muitos estudantes de ensino médio. O engajamento e a interatividade observados entre os estudantes destacam uma mudança de paradigma de um aprendizado passivo para um mais ativo e colaborativo, evidenciando a contribuição desta abordagem educacional.

Para além do produto educacional em si, a SD, o principal achado desta obra consiste em mostrar que o ensino de termoquímica com abordagem *maker* se mostrou capaz de despertar o interesse e o engajamento criativo dos estudantes. Estes, que outrora apresentavam dificuldades nesta seara, passaram então a entender e aplicar determinados conceitos a situações cotidianas e tecnológicas desta área do saber. Não apenas isso, pois foram capazes de construir um artefato para construção e validação dos conceitos abordados e a partir disto adquiriram conhecimento.

No entanto, apesar dos avanços observados, esta pesquisa também identificou barreiras significativas relacionadas à rigidez do currículo escolar e à falta de comunicação efetiva entre os profissionais da educação. Esses desafios sublinham a necessidade de um diálogo contínuo e de estratégias colaborativas para integrar práticas inovadoras de ensino de maneira mais ampla e eficaz nas escolas. Passa por esse diálogo dos profissionais da educação o desenvolvimento de estratégias para amenizar, suprir e recuperar problemas de base em matemática, que desembocam nas dificuldades que os estudantes apresentam na Físico-Química.

O presente estudo também se mostrou desafiador para o professor pesquisador devido a falta de referências didático-pedagógicas e metodológicas sobre o ensino de química com abordagem *maker*. Dessa forma o caminho foi simultaneamente árduo e prazeroso, pois nos permitiu ver o Ensino de Química sob uma outra ótica pouco convencional.

Destarte esta pesquisa desbrava territórios anteriormente inexplorados e se posiciona talvez como um marco entre um ensino dissociativo, centrado no professor e não dialogado com outros participantes do processo educacional, e um ensino integralizado e, portanto, focado no estudante (protagonista e construtor de seu conhecimento). O estudante, navegando pelo sistema escolar e pela comunidade com a ajuda de professores, gestão etc., transforma esses elementos em uma orquestra sincronizada para alcançar esse objetivo educacional. Aberta esta fenda tantos outros temas de química poderão ser prospectados, trazendo para a sociedade o ganho de um novo campo de estudo a abordagem *maker* para o ensino de Química.

Concluimos que a aprendizagem baseada na abordagem *maker*, alicerçada no engajamento comunitário e no fazer criativo, deve ser mais explorada no ambiente escolar. Esta entidade, em conjunto com sua comunidade acadêmica, deve adotar práticas pedagógicas que promovam a autonomia do aluno, reconhecendo seu papel central na construção do próprio conhecimento. O desafio agora é expandir as práticas demonstradas neste estudo para além de seu contexto inicial e implementá-las de forma mais sistemática no sistema educacional, evitando que se limitem a ações pontuais.

REFERÊNCIAS

- ALL3DP. Os melhores programas para impressoras 3D de 2022. **Site da All3DP**, 13 Janeiro 2022. Disponível em: <https://all3dp.com/pt/1/programa-impressora-3d-gratuito-fatiamento-modelagem/#apendice-o-fluxo-de-trabalho-da-impressao-3d>. Acesso em: Janeiro 2022.
- ALMEIDA, Márcia R.; PINTO, Angelo C. Uma breve história da química Brasileira. **Ciência e Cultura**, São Paulo, vol.63 n.1, 2011.
- ANDERSON, C. **Makers: The new industrial revolution**. Nova York: Crown, 2012.
- ANDRÉ, Marli. **O que é um Estudo de Caso Qualitativo em Educação?**. Revista da FAEEBA – Educação e Contemporaneidade, Salvador, 22, n. 40, julho/dezembro 2013. 95-103.
- ASSIS, MARLEY A. P. D. **Impressão 3D, Modelos de Negócios e os Novos Cenários para a Propriedade Intelectual**. (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica E Propriedade Intelectual) Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 124. 2018.
- ATKINS, Peter; JONES, Loretta; LAVERMAN, Leroy. **Princípios de Química**. 7ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- AUTODESK. **Thinkercad**. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>. Acesso em: Jan 2023.
- BJORK, Daniel W. **B. F. Skinner: a life**. Nova York: Basic Book, 1993.
- BLIKSTEIN, Paulo. Digital Fabrication and ‘Making’ in Education: The Democratization of Invention. In: IN: WALTERS, J.; GREEN, J. (Org.). **FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors**. [S.l.]: Transcript-Verlag, v. 4, n. 1, 2013. p. 1-21.
- BLIKSTEIN, Paulo; VALENTE, Jose; MOURA, Éliton M. D. Educação maker: onde está o currículo? **Revista e-Curriculum**, 18, n.2, 2020. 523-544. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/curriculum/article/view/48127/32229>.
- BRAGA, Antonio Wescla Vasconcelos *et al.* A teoria Behaviorista de Skinner: Análise acerca de suas implicações na educação do Ceará. **Congresso Nacional de Educação**, Campina Grande, 2014.
- BRASIL. DECRETO Nº 19.890, DE 18 DE ABRIL DE 1931. **Dispõe sobre a organização do ensino secundário**, Rio de Janeiro, 18 Abr 1931. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-19890-18-abril-1931-504631-publicacaooriginal-141245-pe.html>.
- BRASIL. LEI Nº 9.394, DE 20 DE DEZEMBRO DE 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional.**, Brasília, 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm.

- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**. Brasília: Mec/SEsu, 1999.
- BRASIL. Química. In: **PCN+ Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília: [s.n.], 2002. p. 87-110.
- BRASIL. LEI Nº 11.892, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2008. **Criação da Rede Federal de Ciência e Tecnologia, Institutos Federais**, Brasília, 29 Dezembro 2008.
- BRASIL. **Agência Senado**, 2017. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2017/03/03/reforma-do-ensino-medio-fracassou-na-ditadura>. Acesso em: Março 2021.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**: Texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, consolidado até a Emenda Constitucional nº 96/2017. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2017. ISBN 978-85-7018-824-3 (ISBN).
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: Ministério da Educação - MEC, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf.
- BRASIL. EDITAL Nº 35/2020. **Apoio à criação dos Laboratórios IFMaker na Rede Federal de Educação Profissional Científica**, 2020. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=145681-sei-mec-2064339-edital-chamada-publica&category_slug=2020&Itemid=30192.
- CACHAPUZ, A. *et al.* **Revista Portuguesa de Educação**, v. 14, p. 155, 2001.
- COHEN, Louis; MANION, Lawrence; MORRISON, Keith. **Research Methods in Education**. 8ª. ed. New York: Routledge, 2018.
- CORDEIRO, Angela Maria. **Concepções de Discentes e Docentes Sobre Os Conceitos de Energia, Calor e Temperatura e Suas Implicações no Processo de Ensino-Aprendizagem**. (Monografia) Centro Acadêmico do Agreste Núcleo de Formação Docente - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. Caruaru, p. 65. 2014.
- CRESWELL, Jhon. **Qualitative inquiry and research design: choosing among five approaches**. 3ª. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2013.
- CRESWELL, Jhon W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativos, quantitativos e misto**. Tradução de Magda F. Lopes. Porto Alegre: Artmed, 2010. 206-238 p.
- CÚNICO, Marlon W. M. **Desenvolvimento de nova tecnologia de manufatura aditiva baseado em formação seletiva de compósito**. Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 290. 2013.
- DEWEY, John. **Experience and Education**. Nova York: Kappa Delta Pi, 1938.

- DOUGHERTY, Dale. The Maker Mindset. In: HONEY, Margaret; KANTER, David E. **Design, Make, Play: Growing the Next Generation of STEM Innovators**. 1ª. ed. Nova York: Routledge, 2013. Cap. 1, p. 7-11.
- FERREIRA, Naama Pegado ; SILVA, Clécio Danilo Dias da. **O Tinkercad como Ferramenta Digital Potencializadora para Aprendizagem Sobre as Fases do Tratamento da Água**. *Natural Resources*, 11, n. 3, jul a out 2021. 99-104.
- FILHO, José Vieira do Nascimento *et al.* **As Consequências do Behaviorismo Radical na Educação Infantil**. VI Congresso nacional de educação, Fortaleza, 2019.
- FRAZER, M. A Resolução De Problemas Em Química. **Química Nova**, 5, 1982. 124.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. 60ª. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2016.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. São Paulo: Paz e Terra, 2018.
- GELBER, Steven M. Do-It-Yourself: Constructing, Repairing and Maintaining Domestic Masculinity. **American Quarterly**, 49, n. 1, 1997. 66-112.
- GERSHENFELD, Neil. How to make almost anything: the digital fabrication revolution. **Foreign Affairs**, 91, n. 6, 2012. 43-57. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/41720933>.
- GHIRALDELLI JR., Paulo. **História da educação brasileira**. 5ª. ed. São Paulo: Cortez Editora, 2021.
- GIL, Antonio C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2002.
- GIL, Antônio C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas S.A., 2008.
- GIROUX, HENRY. **Os professores como intelectuais: rumo a uma pedagogia crítica da aprendizagem**. Porto Alegre: ARTMED, 1997. 157-164 p.
- GOMES, PEDRO H. S.; COSTA, FRANCISCO ERNANDES M. DIFICULDADES NO ENSINO APRENDIZAGEM DE QUÍMICA: ESTUDO DE CASO NO 2º ANO DO ENSINO MÉDIO. **Conexões Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, 16, 2022. 1-9.
- GONDIM, Raquel D. S. *et al.* A Implementação de Laboratório Fablearn no Município de Sobral: Um Estudo de Caso Sobre o Uso da Cultura Maker no Ensino de Ciências no Ensino Fundamental. **ENCITEC**, Santo Ângelo, 13, n. 1, 2023. 138-151. Disponível em: <https://san.uri.br/revistas/index.php/encitec/article/view/722/559>. Acesso em: Maio 2023.
- GÜNTER, H. Pesquisa Qualitativa Versus Pesquisa Quantitativa. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, Brasília, 22, n. 2, Maio-agosto 2006. 201-210.
- HALVERSON, Erica R.; SHERIDAN, KIMBERLY M. **The Maker Movement in Education**. *Harvard Educational Review*, Cambridge, 2014. 495-504. Disponível em: <https://www.makersempire.com/wp-content/uploads/2018/02/The-Maker-Movement-in-Education-Halverson-14.pdf>.

- HATCH, M. **The Maker Movement Manifesto**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2014.
- IMD WORLD COMPETITIVENESS CENTER. World Competitiveness Ranking. **Site da IMD World Competitiveness Center**, 2021. Disponível em: <https://www.imd.org/centers/world-competitiveness-center/rankings/world-competitiveness/>. Acesso em: Outubro 2021.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Desenvolvimento humano nas macrorregiões brasileiras: 2016**. Brasília. 2016.
- KOLKO, Jon. Design Thinking Comes of Age. **Harvard Business Review**, 93, n.9, set 2015. 66-71.
- KROSNICK, J. A. Survey research. **Annual Review of Psychology**, Palo Alto, CA, 1999. 537-567.
- LEITE, Bruno S. Aprendizagem Tecnológica Ativa. **Revista Internacional de Educação Superior**, v. 4, p. 580-581, 2018.
- LIMA, Tatiana ; BRITO, Carlos W. D. Q. **Análise do Uso da Cultura Maker Como Metodologia para o Ensino de Química: um mapeamento sistemático**. [S.l.]: [s.n.]. 2022.
- LOSS, Ana Luiza Poletto; BENINI, Fabriciu Alarcão Veiga. **ANÁLISE DE PLATAFORMA GRATUITAS DE CADs ORIENTADAS À Prototipagem**. WORKSHOP DE INOVAÇÃO, PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO. São Carlos: IFSP. 2019. p. 170-173.
- MACÊDO, Elizabeth; LOPES, Alice C. A estabilidade do currículo disciplinar: o caso das ciências. In: MACÊDO, Elizabeth; LOPES, Alice C. **Disciplinas e integração curricular: história e políticas**. Rio de Janeiro: DP&A, 2002. p. 73-94.
- MACHADO, Andrea H. **Aula de Química: discurso e conhecimento**. 2ª. ed. [S.l.]: Unijuí, 2004.
- MÁRCIO, J. **Os quatro pilares da educação: sobre alunos, professores, escolas e textos**. São Paulo: Textonovo, 2011.
- MARCONI, Marina D. A.; LAKATOS, Eva M. **Fundamentos de Metodologia científica**. 5ª. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2003.
- MARRA, Isaac; GUILHERME, Marcelo. **A História da Educação no Brasil**. Edição Kindle. ed. Jundiaí: Paco Editorial, 2020.
- MATOS, MARIA. **Behaviorismo Metodológico E Behaviorismo Radical**. II Encontro Brasileiro de Psicoterapia e Medicina Comportamental. Campinas: [s.n.]. 1993.
- MATTAR, João; RAMOS, Daniela Karine. **Metodologia da pesquisa em educação**. 1ª Edição Kindle. ed. São Paulo: Edições 70, 2021.

- MELO, Giane Lavarda *et al.* Assiduidade e ocorrências disciplinares relacionados aos índices de aprovação de alunos em um curso técnico. **Rev. Sítio Novo**, Palmas, jul./set. 2022. 91-100.
- MELO, Josimeire Medeiros Silveira de. **História da Educação no Brasil**. 2ª. ed. Fortaleza: UAB/IFCE, 2012. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/207142/2/Historia%20da%20educa%C3%A7%C3%A3o.pdf#page=23&zoom=100,0,0>.
- MENEZES, Maria A. D. A. Do método do caso ao case: a trajetória de uma. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, 35, n.1, 2009. 129-143.
- MENEZES, Maria A. D. A. Do método do caso ao case: a trajetória de uma. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, 35, n.1, 2009. 129-143.
- MERRIAM, Sharan B.; TISDELL, Elizabeth. **Qualitative research: a guide to design and implementation**. 4ª. ed. San Francisco: Jossey-Bass, 2016.
- MIRANDA, Vanessa R.; ARTHUR, Thalita; SILVA, Carlos F. B. D. **Aplicação da Cultura Maker e do Construcionismo de Papert em aulas de Química**. VIII Simpósio LASERA. Manaus: [s.n.]. 2021. p. 35-38.
- MIT. About: MIT'S Center for bits and atoms. **site Center for Bits and Atoms (CBA)**, 2001. Disponível em: <http://cba.mit.edu/about/index.html>. Acesso em: Julho 2021.
- MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de aprendizagem**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.
- MORTIMER, Eduardo Fleury. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte: UFMG, 2006.
- NORMAN, Donald A. **The Design of Everyday Things**. Nova York: Basic Books, 1988.
- OECD. PISA results 2018. **PISA Programme for International Student Assessment**, 2018. Disponível em: <https://www.oecd.org/pisa/publications/pisa-2018-results.htm>. Acesso em: Outubro 2021.
- OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de Química. **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, 3, n.3, 2010. 25-45.
- OLIVEIRA, Marta K. Vygotsky e o processo de formação de conceitos. In: TAILLE, Yves de La; OLIVEIRA, Marta Kohl; DANTAS, Heloysa **Piaget, Vygotsky, Wallon: teorias psicogenéticas em discussão**. São Paulo: Summus, 2019. p. 24-38.
- PAPERT, Seymour. **Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas**. Nova York: Basic Books, 1980.
- PAPERT, Seymour. **Mindstorms: Children, Computers, And Powerful Ideas**. 2ª. ed. Nova York: Basic Books, 1993.

PAPERT, Seymour M. **LOGO: computadores e educação**. Tradução de José A. Valente; Beatriz Bitelman e Afira V. Ripper. São Paulo: Brasiliense, 1986.

PATTON, M. **Q. Qualitative Research & Evaluation Methods: Integrating Theory and Practice**. 4ª. ed. Thousand Oaks: Sage Publication inc, 2015.

PAZ, Gizeuda de Lavor da *et al.* Dificuldades no ensino-aprendizagem de química no ensino médio em algumas escolas públicas da região sudeste de Teresina. **Anais PIBIC, UESPI**, 2008.

Disponível em:

<https://www.uespi.br/prop/siteantigo/XSIMPOSIO/TRABALHOS/INICIACAO/Ciencias%20da%20Natureza/DIFICULDADES%20NO%20ENSINO->

[APRENDIZAGEM%20DE%20QUIMICA%20NO%20ENSINO%20MEDIO%20EM%20ALGUMAS%20ESCOLAS%20PUBLICAS%20DA%20REGIAO%20SUDESTE%20DE%20TERESINA.pdf](https://www.uespi.br/prop/siteantigo/XSIMPOSIO/TRABALHOS/INICIACAO/Ciencias%20da%20Natureza/DIFICULDADES%20NO%20ENSINO-APRENDIZAGEM%20DE%20QUIMICA%20NO%20ENSINO%20MEDIO%20EM%20ALGUMAS%20ESCOLAS%20PUBLICAS%20DA%20REGIAO%20SUDESTE%20DE%20TERESINA.pdf). Acesso em: Novembro 2021.

PIAGET, J. **O Diálogo com a Criança e o Desenvolvimento do Raciocínio**. São Paulo: Scipione, 1997.

PIAGET, Jean. **Genetic Epistemology**. Nova York: Columbia University Press, 1970.

PIMENTEL, Fernando S. C. **A Aprendizagem das Crianças na Cultura Digital**. Tese de Doutorado (Programa de pós-Graduação em educação) Universidade Federal de Alagoas. Maceió, p. 201. 2015.

PINTO, A. C. P. *et al.* A cultura maker no ensino de Ciências: uma experiência do foguete-copo no ensino fundamental. **Revista Docentes**, v. 8, n. 22, Jun 2023. 71-79.

PINTO, Sofia L. U. *et al.* O MOVIMENTO MAKER: ENFOQUE NOS FABLABS BRASILEIROS. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, 3, Janeiro-Fevereiro 2018. 38-56.

PORTAL G1. Balenciaga lança tênis com aparência de 'destruído' e sujo. **Site do portal G1**, 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pop-arte/moda-e-beleza/noticia/2022/05/09/balenciaga-lanca-tenis-com-aparencia-de-destruido-e-sujo.ghtml>. Acesso em: Setembro 2023.

PORTO, E. A. B.; KRUGER, Verno. BREVE HISTÓRICO DO ENSINO DE QUÍMICA NO BRASIL. **Encontro de Debates sobre o Ensino de Química**, 2013.

PRESTES, MARIA L. D. M. **A pesquisa e a construção do conhecimento científico: do planejamento aos textos, da escola à academia**. 4ª. ed. São Paulo: Rêspel, 2012.

RODRIGUES, Jocelia Silva Machado; RODRIGUES, Maria Virlene de Araujo ; RODRIGUES, Aldimar Machado. Ensino de físico-química: perspectivas e dificuldades

elencadas por alunos de uma escola pública de ensino médio do Maranhão. **Civicae**, 2, n. 2, Abr a Set 2020.

ROMANELLI, Otaíza D. O. **História da educação no Brasil (1930/1973)**. 40ª. ed. Petropolis: Vozes, 2014.

RUELA, Brunno A. *et al.* O FAZER CRÍTICO: PROPOSTA MAKER DE ENSINO PARA A FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE QUÍMICA. **REVASF - Revista de Educação do Vale do São Francisco**, Petrolina, 13, n.30, Abril 2023.

SANTOS, A. O. *et al.* Dificuldades e motivações de aprendizagem em Química de alunos do ensino médio investigadas em ações do (PIBID/UFS/Química). **SCIENTIA PLENA**, Salvador, 9, n 7, 2013. Disponível em: <https://scientiaplenu.org.br/sp/article/view/1517/812>.

SANTOS, Anderson de O.; MELO, Marlene R. O. **Dificuldades dos licenciandos em química da UFS em entender e estabelecer modelos científicos para equilíbrio químico**. XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ). Salvador: [s.n.]. 2012.

SANTOS, José Alex S. Teorias da Aprendizagem: comportamentalista, cognitivista e humanista. **Revista Científica Sigma**, 2, 2006. 97-111.

SANTOS, N. P. D. Laboratório químico-prático do Rio de Janeiro: primeira tentativa de difusão da Química no Brasil (1812- 1819). **Química Nova**, v. 27, n. 2, Março 2004. p. 342–348.

SANTOS, Nadja P. D.; PINTO, Ângelo C.; ALENCASTRO, Ricardo Bicca de. Façamos Químicos: a "certidão de nascimento" dos cursos de química de nível superior no Brasil. **Química Nova**, v. 29, n. 3, Maio 2006. 621–626.

SARPONGA, David *et al.* Do-it-yourself (DiY) science: The proliferation, relevance and concerns. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 158, 2020.

SCHNETZLER, Roseli P. **A Pesquisa em Ensino de Química no Brasil: Conquistas e Perspectivas**. *Química Nova na Escola*, p. 14-24, 2002.

SILVA, Rodrigo B. E. **Para além do movimento maker: Um contraste de diferentes tendências em espaços de construção digital na Educação**. Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 240. 2017.

SILVA, S. G. da. **As Principais Dificuldades na aprendizagem de Química na visão dos alunos do ensino médio**. IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN (IX CONGIC). Currais Novos: [s.n.]. 2013. p. 1612-1616.

SIMÕES NETO, José Euzébio. **Uma Proposta para o Perfil Conceitual de Energia em Contextos do Ensino da Física e da Química**. Tese de doutorado (Programa de Pós-

Graduação em Ensino das Ciências) Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, p. 250. 2016.

SKINNER, B.F. **Science And Human Behavior**. [S.l.]: The Free Press, 1965.

SOBREIRA, Elaine Silva Rocha; VIVEIRO, Alessandra Aparecida; D'ABREU, João Vilhete Viegas. Cultura Maker e Jogos Digitais. In: MEIRA, Luciano; BLIKSTEIN, Paulo; (Org) **Ludicidade, Jogos Digitais e Gamificação na Aprendizagem**. Porto Alegre: Penso, 2020. Cap. 3, p. 27-38.

THEIS, M. R.. *et al.* **A Importância da Prototipagem no Processo de Design e suas Relações como Mídia do Conhecimento**. Anais do Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação – ciki, Maringá - PR, v.1, n.1, 2022. Disponível em: <https://proceeding.ciki.ufsc.br/index.php/ciki/article/view/1058>. Acesso em: Janeiro 2023.

TIDWELL, J; BREWER, C.; VALENCIA, A. **Designing Interfaces: Patterns for Effective Interaction Design**. 3ª. ed. Sebastopol: CA: O'Reilly Media, 2020.

TOMAZ, SUSIELY SILVA. **A Importância da Experimentação no Ensino de Química e os Desafios Presentes Durante o Ensino Remoto Emergencial**. (trabalho de conclusão de curso) Departamento de Química, UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. João Pessoa, p. 54. 2022.

UTTAL, D. H. *et al.* The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. **Psychological Bulletin**, 139, n2, 2013. 352-402.

UTTAL, D. H. *et al.* The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. **Psychological Bulletin**, 139, n2, 2013. 352-402.

VALENTE, José A.; BLIKSTEIN, Paulo. The construction of knowledge in maker education: a constructivist perspective. **Constructivism Foundation**, Bruxelas, 14, n. 3, 2019. 252-262. Disponível em: <https://constructivist.info/14/3/252.valente.pdf>.

VIEIRA, Luis Duarte ; NICOLODI, Jean Carlos ; DARROZ, Luiz Marcelo. A área de Ciências da Natureza nos PCNs e na BNCC. **Revista Insignare Scientia - RIS**, 4, n. 5, Ago 2021. 105-122.

VIGOTSKY, L. S. **formação social da mente: o desenvolvimento dos processos**. Tradução de José Cipolla Neto; Luís Silveira Menna Barreto e Solange Castro Afeche. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

VOLPATO, Neri *et al.* **Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações**. 1ª. ed. Porto Alegre: Blucher, 2010. 272 p.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente:** o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. Tradução de José Cipolla Neto; Luís Silveira Menna Barreto e Solange Castro Afeche. 7^a. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

VYGOTSKY, L.S. Aprendizagem e desenvolvimento intelectual na idade escolar. In: VYGOTSKY, L.S.; LURIA, A. R.; LEONTIEV, A. N. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem.** 11^a. ed. São Paulo: Icone, 2010. p. 103-1017.

WALLEN, Scott L. *et al.* Maker Chemistry: Exploring Redox Reactions in Introductory. **Journal of Chemical Education**, p. 490-496, 2020.

YIN, Robert K. **Estudo de caso:** planejamento e métodos. 2^a. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZABALA, Antoni. **A Prática Educativa:** Como Ensinar. Tradução de Ernani F. da F Rosa. E-pub. ed. Porto Alegre: artmed, 2014.

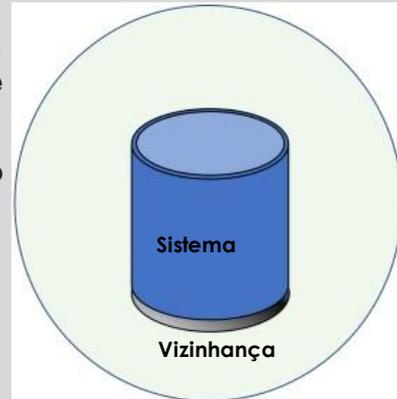
APÊNDICE A – Apresentação utilizada nas aulas



Aula	Assunto(s)	O que será executado?
1	Introdução a termoquímica e a termodinâmica: - Apresentação da proposta Maker - Conceitos básicos (sistemas, Calor, temperatura) - Primeira lei da termodinâmica	- Aula expositiva dialogada introdutória a termoquímica (Calor, temperatura, trabalho, sistema, vizinhança, energia interna) - 1ª Lei da termodinâmica (vídeo a ser apresentado)
2	Termoquímica: Primeira lei da termodinâmica Entalpias padrão, de formação, de combustão	- Aplicação da primeira Lei da termodinâmica em motor de combustão (vídeo a ser apresentado) - Discussão do tema, 1ª Lei da termodinâmica. - Explicar os diferentes conceitos de entalpia. Resolução de exercícios
3	Termoquímica: - Estequiometria na termoquímica, Entalpia de combustão Poder calorífico dos combustíveis	- Discutir comparativamente a partir dos cálculos termoquímicos a eficiência dos combustíveis etanol e gasolina (relação 70%). - Verificar o poder calorífico de outros combustíveis.
4	Termoquímica: Lei de Hess, Funcionamento de foguetes	- Demonstrar aplicação da lei de Hess. - Mostrar funcionamento de foguetes (vídeo a ser apresentado)
5	Prototipação de foguetes (aula no laboratório maker)	- Uso da plataforma TinkerCad para desenhar foguetes. (vídeo a ser apresentado) - Observação: necessidade de computadores ou tablets na aula, preferencialmente no laboratório maker.
6	Prototipação de foguetes (aula no laboratório maker)	- aula dedicada a construção e impressão de foguete usando as impressoras 3D. (sugestão de vídeo) - Professor irá acompanhar o progresso dos grupos.
7	Prototipação de foguetes	- Aula dedicada a construção, impressão e testagem.

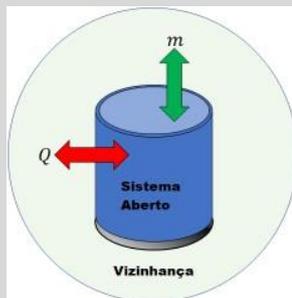
Conceitos básicos: Sistema e Vizinhança

- Sistema: é uma porção limitada do universo, considerada como um todo para efeito de estudo.
- Vizinhança: é tudo aquilo que está fora do sistema.

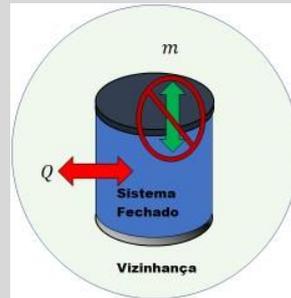


28/11/2023

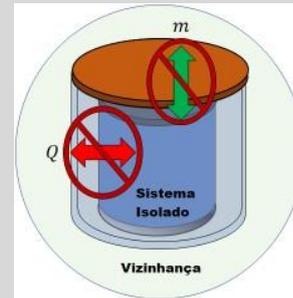
Sistemas e seus tipos



SISTEMA ABERTO:
TROCA MATÉRIA E ENERGIA
COM VIZINHANÇA



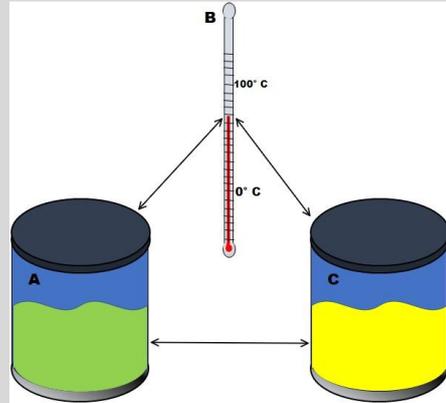
SISTEMA FECHADO:
TROCA ENERGIA COM A
VIZINHANÇA, MAS NÃO
TROCA MATÉRIA



SISTEMA ISOLADO:
NÃO TROCA MATÉRIA E
ENERGIA COM A
VIZINHANÇA

Conceitos básicos: Calor, temperatura e Lei Zero da termodinâmica

- **Temperatura:** é uma propriedade de um corpo, ou sistema, capaz de dizer em qual sentido será transferido o calor quando este for colocado em contato com outro, ou ainda, se não haveria troca de calor, no caso do equilíbrio térmico. Trata-se de uma propriedade que interfere em outras de uma amostra, por exemplo na energia cinética média das partículas que a compõem.
- **A lei zero da termodinâmica** Se o sistema A está em equilíbrio térmico com o sistema B e se B está em equilíbrio térmico com C, então A e C também estão em equilíbrio térmico.



28/11/2023

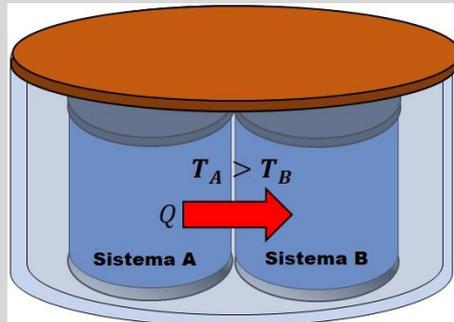
Conceitos básicos: Calor, temperatura e Lei Zero da termodinâmica

- **O calor:** é um tipo de energia que é transferida entre sistemas ou entre sistema e vizinhança devido a diferença de temperatura entre eles. Onde aquele com maior temperatura transfere calor para o que tiver com menor temperatura. Sistemas a uma mesma temperatura estão em equilíbrio térmico e não trocam calor.

O calor transferido do sistema A, Q_A , e o recebido pelo sistema B, Q_B , quando apenas estes trocam calor entre si e estão isolados da vizinhança e de outros sistemas é dado pela Equação a seguir:

$$Q_A + Q_B = 0 \therefore Q_B = -Q_A$$

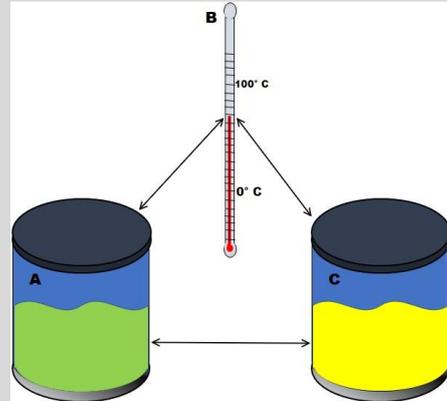
Conservação de Energia



O sistema A por estar com maior temperatura inicial, T_A , transfere calor para o sistema B de menor temperatura inicial, T_B .

Conceitos básicos: Calor, temperatura e Lei Zero da termodinâmica

- **Temperatura** é uma propriedade de um corpo, ou sistema, capaz de dizer em qual sentido será transferido o calor quando este for colocado em contato com outro, ou ainda, se não haveria troca de calor, no caso do equilíbrio térmico. Trata-se de uma propriedade que interfere em outras de uma amostra, por exemplo na energia cinética média das partículas que a compõem.
- **A lei zero da termodinâmica** Se o sistema A está em equilíbrio térmico com o sistema B e se B está em equilíbrio térmico com C, então A e C também estão em equilíbrio térmico.



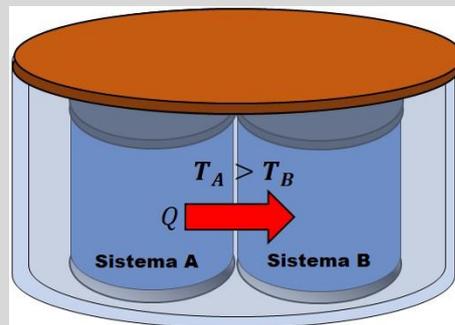
28/11/2023

Trocas de calor

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q_A + Q_B = 0 \therefore Q_B = -Q_A$$

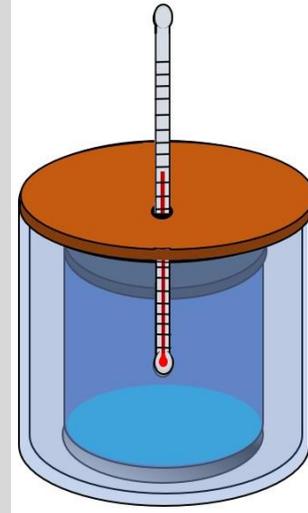
$$-(m_A \cdot c_A \cdot \Delta T_A) = m_B \cdot c_B \cdot \Delta T_B$$



28/11/2023

Medindo trocas de calor

- Para se medir trocas de calor utilizamos instrumentos chamados calorímetros.
- A equação abaixo é útil em sistemas que não são formados por única substância (ex: calorímetros)
- $Q = C \cdot \Delta T$

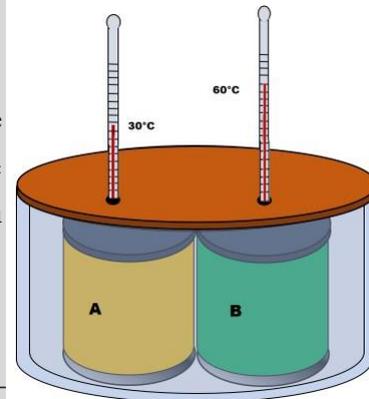


28/11/2023

Exercício

1) Responda:

- 1) Dois sistemas, A e B, estão em contato separados por paredes diatérmicas (que permitem troca de calor) e isolados da vizinhança conforme podemos observar inicialmente na figura abaixo. :
- Em que sentido ocorrerá a transferência de calor? Por quê?
 - Observando as temperaturas iniciais mostradas na figura, sabendo, que a temperatura final de equilíbrio térmico é de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ e que a capacidade térmica do sistema A, $C_A = 5\text{ cal}/^{\circ}\text{C}$. Que quantidade de calor, Q_A , é cedida ou recebida pelo sistema A.
 - Qual a capacidade térmica, C_B , do sistema B?

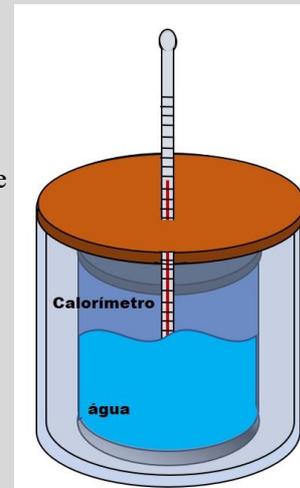


Calibrando um calorímetro

- Consiste em determinar sua capacidade térmica.
- Em outras palavras quantos calorias (ou joules) de energia ele precisa absorver para aumentar sua temperatura em 1°C.

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{Calorímetro}} = 0 \therefore Q_{\text{Calorímetro}} = -Q_{\text{água}}$$

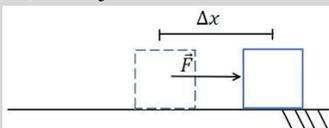
$$C_{\text{calorímetro}} \cdot \Delta T_{\text{calorímetro}} = -m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}}$$



28/11/2023

Trabalho

- Vamos nos aprofundar em outra grandeza termodinâmica, o Trabalho.
- O trabalho, W , por sua vez, pode ser definido de várias formas pois temos diversos tipos (Trabalho elétrico, mecânico, que pode ser: trabalho da força elástica, trabalho de expansão de um gás, dentre outros).
- O trabalho mecânico pode ser definido na figura onde temos um corpo sendo submetido a uma força, \vec{F} , provocando assim um deslocamento, Δx , no objeto.



$$W = \vec{F} \cdot \Delta x$$

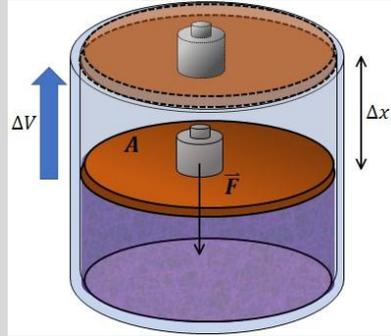
- O trabalho, W , é dado pelo produto entre a força, \vec{F} , e a distância percorrida pelo corpo, Δx , em decorrência da ação dela, conforme podemos observar.

28/11/2023

Trabalho na termodinâmica

- Frequentemente, estudamos o trabalho em termodinâmica quando temos sistemas fechados com êmbolo móvel e gases que se expandem contra uma força, \vec{F} , tendo um aumento de volume, ΔV , conforme podemos observar.
- A seguir temos um trabalho realizado pelo sistema em decorrência da pressão exercida pelo gás em contraposição a força exercida pelo êmbolo. Ele pode ser calculado pela equação, $W = \vec{F} \cdot \Delta x$, com algumas observações.
- Uma delas é que o movimento se dá em sentido contrário a força, \vec{F} , que atua sobre o êmbolo. Isso traz como consequência, e por definição, trabalho negativo.
- Outra é que a pressão do gás, P , pode ser calculada pela razão entre a força, \vec{F} , e a área, A , do êmbolo isso nos leva a:

$$P = \frac{F}{A} \therefore \vec{F} = P \cdot A \quad \Delta V = A \cdot \Delta x \therefore \Delta x = \frac{\Delta V}{A} \quad W = -P \cdot A \cdot \frac{\Delta V}{A} \therefore W = -P \cdot \Delta V$$



A energia Interna (U)

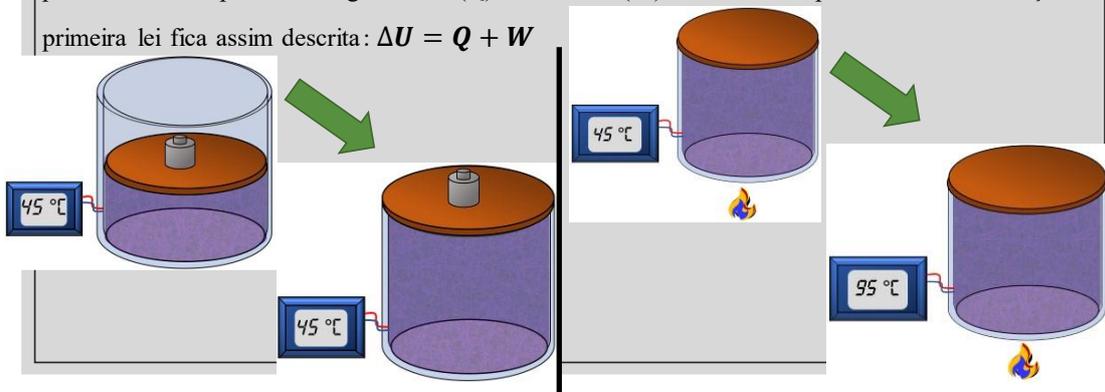
- Para entendermos a primeira lei devemos abordar o conceito de Energia Interna.
- **Energia Interna:** *trata-se da soma da energia cinéticas e potencial, ou seja, energia total, das moléculas que compõem um sistema.*
- A Energia interna é uma função de estado isso significa que seu valor depende apenas do estado em que o sistema está e não da forma com a qual o sistema chegou nesse estado. Outros exemplos de função de estado são temperatura, volume, quantidade de matéria e pressão.

A primeira Lei da termodinâmica



A primeira Lei da termodinâmica

- Se um sistema estiver isolado sua energia interna, U , não irá variar ao longo do tempo, $\Delta U = 0$. Contudo, se o sistema estiver apenas fechado, a variação da Energia interna, ΔU , será determinada pela soma dos tipos de energia, calor (Q) e trabalho (W) trocado dele para com a vizinhança. A primeira lei fica assim descrita: $\Delta U = Q + W$

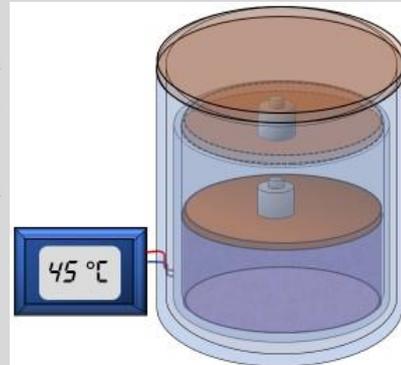


Exercício 2

◦ Em um calorímetro com êmbolo móvel foi realizada a combustão de vapor de etanol com gás oxigênio ($C_2H_6O_{6(v)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 3CO_{2(g)} + 3H_2O_{(v)}$). Calorímetro e sistema reacional estão isolados da vizinhança. A temperatura inicial era de 25 °C, O volume inicial era de 1 L e ao final o sistema expandiu à 2 L, a pressão exercida sobre o êmbolo é constante de 1 atm, a temperatura final 45 °C e a capacidade térmica do calorímetro, C , é $10 \text{ cal. } ^\circ\text{C}^{-1}$. Responda os itens abaixo

- Entre calorímetro e sistema reacional, em qual sentido se deu a realização do trabalho? Justifique. Calcule o trabalho realizado.
- Entre calorímetro e sistema reacional, em qual sentido se deu a transferência de calor? Justifique. Calcule a quantidade de calor trocada

Qual foi a variação da energia interna do sistema reacional ao final do processo.



28/11/2023

1ª lei aplicação



28/11/2023

Entalpia

- A entalpia, H , em um sistema com determinada energia interna, U , ocupando um volume, V , submetido a uma pressão, P , é definida pela igualdade a seguir.

$$H = U + P.V$$

- A definição a partir dessa expressão parece não trazer algum significado físico palpável. Entretanto, podemos entender a entalpia de um sistema inicialmente colocado em um ambiente, como a sua energia interna acrescida do trabalho que esse sistema realiza sobre o ambiente, $P.V$, simplesmente ocupar um certo volume, V . A vantagem do uso da grandeza entalpia se dá que ela leva em conta, por si, as trocas de calor e a realização de trabalho em processos termodinâmicos à pressão constante. (MARTINS, 2015)
- Pelo fato das grandezas que definem entalpia serem função de estado, a entalpia também é, e, como tal, independe do processo que leva um sistema de um estado inicial a outro, logo :

$$\Delta H = \Delta U + P.\Delta V$$

- Podemos utilizar a expressão da primeira lei:

$$\Delta H = Q + W + P.\Delta V \therefore \Delta H = Q - P.\Delta V + P.\Delta V \therefore \Delta H = Q$$

- Conclui-se que em processos termodinâmicos, à pressão constante e com trabalho de expansão, a variação de **entalpia é igual ao calor transferido sob pressão constante.**

28/11/2023

Variação de Entalpia

- Conceitualmente a variação de entalpia, como qualquer variação de uma grandeza, seria calculada medindo -se a diferença entre o estado inicial desse sistema e o final.

$$\Delta H = H_f - H_i$$

- Por se tratar de uma reação química escrevemos:

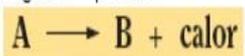
$$\Delta H_R = \sum H_p - \sum H_r$$

- É interessante ressaltar que conseguimos medir experimentalmente variações de entalpia em calorímetros, e não a entalpia individual de uma substância que depende de vários fatores como o estado físico, forma alotrópica, temperatura e quantidade de matéria.

28/11/2023

ΔH em Reações Exotérmicas

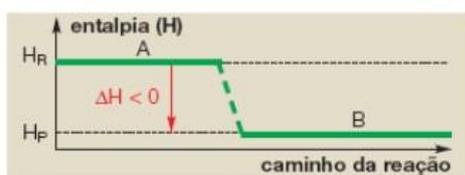
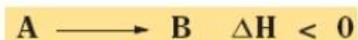
reagente produto



$$\Delta H = H_P - H_R$$

$$H_R > H_P$$

$$\Delta H < 0$$



28/11/2023

ΔH em Reações Endotérmicas

reagente

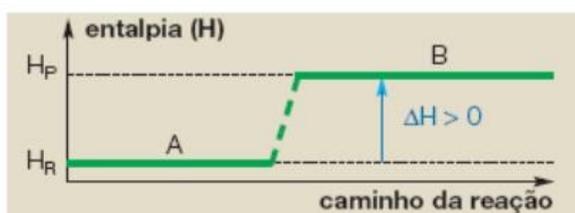
produto



$$\Delta H = H_P - H_R$$

$$H_R < H_P$$

$$\Delta H > 0$$



28/11/2023

Estado padrão, entalpia padrão

- Escolheu-se fazer medições de variação de entalpia em reações químicas em certas condições para poder compará-las. Escolheu-se assim uma situação comum, padrão, para fazer essas medições chamada de **estado padrão**.
- Esse estado padrão se refere a substância pura na pressão de 1 bar. Portanto o estado padrão do gelo é gelo puro à 1 bar. Já um soluto em uma solução líquida está em seu estado padrão quando sua concentração é 1 mol.L⁻¹. (ATKINS, JONES e LAVERMAN, 2018)
- A **entalpia padrão** de uma reação por sua vez representado por ΔH^0 , é a entalpia quando os reagentes, nos seus respectivos estados padrão se transformam nos produtos igualmente no estado padrão.
- **entalpia padrão**: Comumente as entalpias padrão são medidas a 25 °C e dessa forma disponibilizadas em tabelas, entretanto o **estado padrão** de uma substância conceitualmente se refere apenas a pressão de 1 bar. Isso significa que podem ser feitas medidas de entalpia padrão em outras temperaturas.
- Substâncias simples no estado padrão apresentam entalpia igual a zero $H^0 = 0$

Elemento	H	O	C	S	N	F	Cl	Br	I
Substância simples com H = 0	H _{2(g)}	O _{2(g)}	C _{graf}	S _{omb}	N _{2(g)}	F _{2(g)}	Cl _{2(g)}	Br _{2(l)}	I _{2(s)}

28/11/2023

Entalpia e seus tipos

- Entalpia de vaporização
- Entalpia padrão
- Entalpia de formação
- Entalpia de reação
- Entalpia de combustão
- Entalpia de neutralização
- Entalpia de Ligação

28/11/2023

Entalpia de Formação

- Entalpia de formação é o calor liberado ou absorvido na formação de 1 mol de uma substância a partir de substâncias simples, no estado padrão.

Entalpia padrão de formação de algumas substâncias a 25 °C e 1 atm

Substância	ΔH_f° (kJ/mol)	Substância	ΔH_f° (kJ/mol)	Substância	ΔH_f° (kJ/mol)
$Al_2O_3(s)$	-1 676	$C_2H_5OH(l)$	-278	$Mg(OH)_2(s)$	-924,7
$CO(g)$	-110	$CH_3COOH(l)$	-487,0	$NH_3(g)$	-46,0
$CO_2(g)$	-394	$CaO(s)$	-635,5	$NO(g)$	+90,4
$CH_4(g)$	-74,9	$Ca(OH)_2(s)$	-986,6	$NaCl(s)$	-413
$C_2H_6(g)$	-84,5	$Fe_2O_3(s)$	-822,2	$SO_2(g)$	-297
$C_2H_2(g)$	+227	$H_2O(l)$	-286	$SO_3(g)$	-396
$CH_3OH(l)$	-238	$HCl(g)$	-92,5	$H_2SO_4(l)$	-813,8

Entalpia de Combustão

- É a energia liberada na combustão completa de **1 mol** de uma substância no estado padrão.
- Ex: a combustão etanol
- $C_2H_6O(l) + 3 O_2(g) \rightarrow 2 CO_2(g) + 3 H_2O(l)$ $\Delta H = - 1.368$ kJ/mol
- $C_8H_{18}(l) + 25/2 O_2(g) \rightarrow 8 CO_2(g) + 9 H_2O(l)$ $\Delta H = - 5.471$ kJ/mol



Poder calorífico dos combustíveis

- Quantidade de energia liberada pela combustão completa de uma unidade de massa ou volume de gás a pressão e temperatura constantes, 101,33 kPa (1.013,25 bar ou 760 mmHg) e 15°C, respectivamente. Essa grandeza é expressa em unidades de energia por unidade de massa de gás, MJ/kg, ou por unidade de volume de gás, MJ/m³.
- Há dois tipos de poder calorífico:
 - poder calorífico superior
 - poder calorífico inferior

28/11/2023

Poder calorífico dos combustíveis

- Poder Calorífico Superior (PCS)

É a quantidade de calor produzida por 1 kg de combustível, quando este entra em combustão, em excesso de ar, e os gases da descarga são resfriados de modo que o vapor de água neles seja condensado.
 - Poder Calorífico Inferior
 - É a quantidade de calor que pode produzir 1kg de combustível, quando este entra em combustão com excesso de ar e gases de descarga são resfriados até o ponto de ebulição da água, evitando assim que a água contida na combustão seja condensada.
- Como a temperatura dos gases de combustão é muito elevada nos motores endotérmicos, a água contida neles se encontra sempre no estado de vapor, portanto, o que deve ser considerado é o poder calorífico inferior e não o superior.

28/11/2023

Poder calorífico de alguns combustíveis

SUBSTÂNCIA	FÓRMULA	MASSA MOLECULAR	PODER CALORÍFICO			
			SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR
			kcal/kg	kcal/kg	kWh/kg	kWh/kg
Carbono	C	12,01	7.819	7.819	9,09	9,09
Hidrogênio	H ₂	2,02	33.900	28.642	39,40	33,29
Monóxido de Carbono	CO	28,01	2.412	2.412	2,80	2,80
Enxofre	S	32,06	2.210	2.210	2,57	2,57
Gás Sulfídrico	H ₂ S	34,08	3.939	3.631	4,58	4,22
Amônia	NH ₃	17,03	5.364	4.439	6,23	5,16
Metano	CH ₄	16,04	13.249	11.940	15,40	13,88
Etano	C ₂ H ₆	30,07	12.384	11.336	14,39	13,17
Propano	C ₃ H ₈	44,09	12.018	11.065	13,97	12,86
n-Butano	C ₄ H ₁₀	58,12	11.822	10.919	13,74	12,69
i-Butano	C ₄ H ₁₀	58,12	11.794	10.891	13,71	12,66
n-Pentano	C ₅ H ₁₂	72,14	11.702	10.829	13,60	12,59
i-Pentano	C ₅ H ₁₂	72,14	11.680	10.252	13,57	11,92
neo-Pentano	C ₅ H ₁₂	72,14	11.635	10.761	13,52	12,51
Eteno	C ₂ H ₄	28,05	12.009	11.260	13,96	13,09
Propeno	C ₃ H ₆	42,08	11.674	10.925	13,57	12,70
n-Buteno	C ₄ H ₈	56,10	11.563	10.817	13,44	12,57
i-Buteno	C ₄ H ₈	56,10	11.502	10.754	13,37	12,50
Acetileno	C ₂ H ₂	26,04	11.929	11.527	13,86	13,40
Etanol	C ₂ H ₅ OH	46,07	7.302	6.619	8,49	7,69
Metanol	CH ₃ OH	32,04	5.692	5.037	6,62	5,85
Benzeno	C ₆ H ₆	78,11	10.103	9.698	11,74	11,27
Tolueno	C ₇ H ₈	92,13	10.231	9.776	11,89	11,36
Xileno	C ₈ H ₁₀	106,16	10.347	9.854	12,03	11,45

Energia de ligação

- Em todas as reações químicas ocorre quebra das ligações existentes nos reagentes e formação de novas ligações nos produtos. O estudo da variação de energia envolvida nesses processos nos permite determinar a variação de entalpia das reações.
- **Energia de ligação** é a energia absorvida na quebra de 1 mol de ligações, no estado gasoso, a 25 °C e 1 atm.

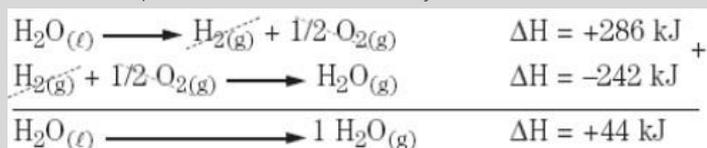
Algumas Energias de Ligação

Ligação	Energia	Ligação	Energia	Ligação	Energia
H—H	436,0	C—Cl	327,2	O=O	468,6
H—F	563,2	C—Br	280,7	N≡N	945,4
H—Cl	431,8	C—I	241,4	N—H	391,0
H—Br	366,1	C—C	346,8	N—Cl	192,6
H—I	298,7	C=C	614,2	F—F	153,1
C—H	413,4	C≡C	833,4	Cl—Cl	242,6
C—O	353,5	C=O (CO ₂)	804,3	Br—Br	192,8
C—F	434,3	H—O	463,5	I—I	151,0

28/11/2023

LEI DE HESS

- para uma dada reação, a variação de entalpia é sempre a mesma, esteja essa reação ocorrendo em uma ou em várias etapas.
- H₂O(l) para o estado gasoso nas condições do estado padrão. Isso pode ser feito em uma única etapa:
 - H₂O(l) → H₂O(g) ΔH = +44 kJ
- Poderíamos também obter H₂O(g) em duas etapas:
 - A) Decomposição de 1 mol de H₂O(l): H₂O(l) → H₂(g) + 1/2 O₂(g) ΔH = +286 kJ
 - B) formação de 1 mol de H₂O(g): H₂(g) + 1/2 O₂(g) → H₂O(g) ΔH = -242 kJ
- Como a reação global corresponde à soma dessas duas reações, o ΔH da reação global também corresponde à soma dos ΔH das reações envolvidas:



28/11/2023

APÊNDICE B – Explicação das aulas dialogadas

Os slides, contidos no Apêndice A mostram a sequência daquilo que foi lecionado nas quatro aulas expositivo dialogadas anteriores as aulas de prototipagem ocorridas no Laboratório *Maker*. Este apêndice trata-se de uma explicação mais detalhada de como o professor pesquisador conduziu essas aulas com apoio dos referidos Slides.

A primeira aula expositiva dialogada se deu começando por uma exposição e explicação da sequência didática (slides da página 86) seguindo posteriormente para os conceitos básicos da termodinâmica (sistemas, vizinhança, calor, Lei Zero, slides págs. 87, 88 e 89). Em seguida abordamos medições e trocas de calor, com alguns exercícios que ilustram a aplicação do conceito (slides pag. 90).

Na segunda aula iniciamos abordando os conceitos de trocas de calor para calibrar um calorímetro (slide pag. 91). Adentramos então no conceito de trabalho, partindo do trabalho de deslocamento de corpo por uma força, estudado na Física do ensino médio, até chegarmos no trabalho de expansão de um gás, necessário para entender a primeira Lei da termodinâmica (slides págs. 92 e 93). Com os conceitos de calor e trabalho devidamente discutidos, pudemos então lecionar sobre energia interna e a primeira Lei da termodinâmica, fazer exercícios e ver um exemplo de sua aplicação em motores de combustão (slides pag. 94,95 e 96).

Na terceira aula iniciamos com abordagem dos conceitos de variação de entalpia, reações endotérmicas e exotérmicas, entalpia padrão, entalpia de formação, entalpia de combustão (slides págs. 97, 98 e 99). Na entalpia de combustão trabalhamos a conhecida relação entre os preços da gasolina e etanol que legalmente deve constar nos postos de combustíveis (slide pag. 98). Fizemos, portanto a discussão com os alunos, demonstrando o cálculo de energia liberada por litro de cada combustível, mostramos assim o porquê de quando a razão entre o preço etanol e da gasolina é 70% eles são economicamente equivalentes, entretanto acima desse valor a gasolina é mais vantajosa e abaixo dele o etanol é financeiramente mais viável.

Por fim na quarta e última aula expositiva da SD, discutimos um tema pouco comum no ensino médio, o poder calorífico dos combustíveis, com o intuito de fazer o aluno refletir sobre o uso de combustíveis e sua energia liberada por massa (slides pag. 100). Isso deu base ao estudante entender por exemplo sobre o uso de determinados combustíveis em foguetes são priorizados, como o Hidrogênio. Trabalhamos posteriormente as energias de ligação e a Lei de Hess (slide pag. 101).

APÊNDICE C – Produto educacional: Sequência Didática

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE
NACIONAL**

PRODUTO EDUCACIONAL

SEQUÊNCIA DIDÁTICA:

O USO DA APRENDIZAGEM MAKER NO ENSINO DE TERMOQUÍMICA

**Caio Henrique Telles Lins Santos Albuquerque
Prof. Dr. Bruno Silva Leite**

**Recife – PE
2022**

APRESENTAÇÃO

Prezados Professores,

A Química é uma ciência central necessária em todas as áreas do conhecimento científico e tecnológico. Seu domínio ao longo de pouco mais de 200 anos proporcionou um grande desenvolvimento para humanidade, permitindo por exemplo:

- O crescimento populacional seja através da maior oferta de alimentos com uso de insumos químicos ou aumento da expectativa de vida através do domínio molecular e reacional aplicado a medicina farmacologia;

- Uma melhoria da qualidade de vida em geral proporcionada por avanços tecnológicos como o domínio da siderurgia permitindo a construção de moradias e unidades fabris, ou ainda o domínio da eletroquímica presente na bateria de dispositivos desde smartphones a automóveis.

O fato é que além desses, temos tantos outros benefícios trazidos pela química, que para nós professores, é difícil entender como não se apaixonar por essa área do conhecimento.

Ocorre que em nossa prática docente é muito desestimulante ver que muitos de nossos estudantes não adquirem esse deslumbramento, que nos contagia, e nos perguntamos o que fazer para tornar a química mais agradável aos nossos alunos dessa geração Z, muito diferentes da nossa.

O primeiro contato dos adolescentes com a química ocorre no final do ensino fundamental ou ainda no 1º ano do ensino médio, a depender da escola. Essa iniciação, todavia, encontra muitas barreiras seja na linguagem química propriamente dita, ou ainda na falta de alicerces bem estabelecidos em outras áreas do conhecimento como nas ciências exatas e da natureza ou na matemática.

O ensino cada vez mais conteudista voltado para responder questões de múltipla escolha em provas escolares que, por sua vez, preparam para o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), cada vez mais, retiram o papel da reflexão na construção do saber. Conduzindo assim o estudante a decorar um conteúdo sem aprendê-lo significativamente.

A Físico-Química apresentada no segundo ano do ensino médio muitas vezes se resume a decorar fórmulas para resolver certos tipos de questões sem que haja uma maior reflexão sobre a aplicação daqueles conceitos no cotidiano.

Ainda no ensino da Físico-Química se somam as dificuldades conceituais aquelas de base matemática que a tornam essa área da química a preterida por uma parcela dos estudantes.

Quando se aborda a termoquímica é comum um enfoque meramente matemático e estequiométrico sem uma aplicação em situações mais cotidianas que levem o aluno a uma reflexão. Tornando desse modo o assunto descolado de discussões acerca de combustíveis e seu poder calorífico, à questão energética nacional e mundial, de forma a trazer um debate mais amplo e relevante ao nosso contexto enquanto sociedade.

Para além da forma como o conteúdo é ensinado é importante, também, o método de ensino-aprendizagem. Dentre várias metodologias alternativas sobre como ensinar um conteúdo esse autor traz uma vertente que vem se popularizando no Brasil e no mundo, mas ainda pouco abordada sob o viés do ensino de química, conhecida como aprendizagem maker.

O aprendizagem maker ainda que recente, com pouco mais de 20 anos, se ancora em termos fundamentológicos nos Construcionismo de Seymour Papert uma vertente do Construtivismo de Piaget. Em suma Papert afirma em seu trabalho que o ser humano aprende quando constrói e interage com um objeto.

Nesse trabalho portanto você encontrará uma sequência didática para ensino de termoquímica baseado no ensino aprendizagem maker, que foi aplicada com estudantes de ensino médio de uma escola da rede federal de ensino na cidade de Ipojuca em Pernambuco.

Nessa sequência os estudantes serão encorajados a construir um foguete utilizando as ferramentas presentes em um **espaço maker**²¹ e o aprendizado dos conteúdos se dará durante esse processo de construção, onde o professor irá orientar e guiá-los.

Sinta-se livre para adaptá-la a sua realidade local ainda que você não disponha de um **espaço maker** ou equipamentos como a impressora 3D, pois a aprendizagem maker não requer nenhum equipamento sofisticado apenas a capacidade de construir um objeto e a partir da interação com ele construir o conhecimento.

²¹ **Espaço maker:** Esse termo aqui usado pode ter outros similares como FabLab, Maker Space, laboratório de fabricação. Em síntese todos consistem em um local físico com ferramentas de construção convencionais e ferramentas de construção digital (como impressoras 3D, processadores arduino) onde as pessoas constroem objetos e desenvolvem ideias compartilhando-as.

Sumário

APRESENTAÇÃO.....	1
1. Contextualizando a Termoquímica e a Termodinâmica	5
2. Abordagem: a Termoquímica e a Termodinâmica	6
3. Entendendo a Termodinâmica e a Termoquímica	7
3.1. Sistemas	7
3.2. Calor, temperatura e a lei zero	8
3.3. Trabalho	12
3.4. A Primeira Lei da Termodinâmica.....	14
3.5. Conceito de Entalpia	15
3.5.1. Estado padrão, Entalpia padrão e Entalpia padrão de formação.....	17
3.6. Diferentes entalpias	19
3.6.1. Entalpia Vaporização	19
3.6.2. Entalpia de Ligação	19
3.6.3. Entalpia de Combustão	23
4. Cultura, movimento e Aprendizagem Maker	25
5. Desenho de Objetos	27
6. Sequência Didática	37
7. Aplicação da sequência didática	38
7.1. Aula 1	39
Exercício 1 - Aula 1	39
Exercício 2 - Aula 1	40
Questionário aula 1:	42
7.2. Aula 2	43
7.3. Aula 3	43
7.4. Aula 4	43
7.5. Aulas 5,6 e 7.....	44

7.6. Aula 8.....	44
Referências bibliográficas	46

1. Contextualizando a Termoquímica e a Termodinâmica

Boa parte das leis que regem a Físico-Química dos processos físicos e reacionais se encontram amparados na termodinâmica. Ela foi desenvolvida ao longo do século XIX baseada em dados experimentais.

Pode-se dizer que ela consiste no estudo da energia contida em um sistema e sua alteração, devido ao calor e/ou trabalho, trocado com a vizinhança que o circunda. (Atkins; Jones; Laverman, 2018)

Ela é capaz por exemplo de prever que seria possível fazer diamante a partir do grafite em determinadas condições de temperatura e pressão antes disso ser experimentalmente tentado. (Mahan; Meyers, 1995)

Trata-se, portanto, de uma área que permite a compreensão de matéria e energia em escalas do nível atômico molecular até o patamar do universo cósmico. Pode-se aplicar a termodinâmica em quaisquer modelos e até sem considerar a concepção de que a matéria é formada por átomos.

A primeira lei da termodinâmica foi desenvolvida a partir da compreensão dos trabalhos de Julius Robert Meyer e James P. Joule, que estabeleceram a possibilidade de conversão de energia na forma de trabalho em calor e vice-versa cabendo a Herman von Helmholtz sua formulação matemática em termos atômicos moleculares. (Moore, 2012)

Dentre outras notórias contribuições para a termodinâmica podemos citar Rudolf Clausius que em 1850 publica artigo sobre a primeira e a segunda lei da termodinâmica, que também foram enunciadas de forma independente por Kelvin. Ambos a demonstraram de formas diferentes baseados nos trabalhos de Carnot, no estudo de máquinas térmicas, e Meyer e Joule, na equivalência entre energia mecânica e calor. (Oliveira, 2005)

O autor dessa obra, que vos escreve, entende que para o professor explicar a termoquímica ele deve ir um pouco além e se apropriar um pouco sobre a termodinâmica, pois a termoquímica é uma parte dela. Assim sendo iremos abordar brevemente a termodinâmica no capítulo seguinte.

Essa abordagem compila alguns conhecimentos que julgamos necessários para o professor dominar, para melhor conduzir e responder as indagações de seus estudantes. Preferiu-se, portanto abordar com certa superficialidade esse tema quando comparado aos livros de nível superior, entretanto trazendo uma abordagem e adaptação corriqueiramente não contemplada em livros de ensino médio.

Essa obra, voltada ao professor de ensino médio, tem como principal objetivo instruir o docente a aplicar uma sequência de aulas, chamada sequência didática, utilizando a metodologia de ensino aprendizagem *Maker* para lecionar termoquímica.

Conclui-se que essa não é uma obra definitiva sobre o tema. Aquele professor que desejar se aprofundar, e ampliar, seus conhecimentos na termodinâmica pode fazê-lo buscando livros de nível superior como os referenciados ao longo dessa obra e outras fontes.

2. Abordagem: a Termoquímica e a Termodinâmica

Ao se ensinar a termodinâmica é comum que se tenha abordado conceitos básicos como sistema (aberto, fechado e isolado) e vizinhanças. Os conceitos de calor, temperatura, função de estado, conservação da energia, energia interna e trabalho para só então se partir para abordagem das leis e conseqüentemente o conceito de entalpia e suas variantes (entalpias: padrão, de formação, de reação, de combustão etc.).

Uma sequência como essa de conteúdos, ou similar, é comum de ser adotada em livros de química de nível superior como na obra do Mahan e Meyers (1995). Alguns exemplares preferem abordar o conceito de função de estado depois da abordagem da primeira lei, como no caso de Atkins, Paula e Laverman (2018) ou ainda no livro de Brown e colaboradores (2016).

Nos livros de ensino médio de química por sua vez corriqueiramente não abordam a termodinâmica e partem logo para o ensino da termoquímica, fazendo antes uma introdução sobre o conceito de caloria e como medi-la através de calorímetros. Essa abordagem pode ser vista nos livros de Martha Reis (2016) e Usberco e Salvador (2014).

Para se ensinar a termoquímica entendemos que alguns conceitos da termodinâmica devem ser abordados, com algumas adequações que o professor julgar necessárias, devido ao perfil do estudante.

Na seção 3 você encontrará uma abordagem teórica que leva em conta essas disparidades de abordagem. Tentamos assim fazer uma transposição de conteúdos da termodinâmica para o professor de ensino médio da área de química e como ele pode tratar esse tema com seus alunos segundo a perspectiva deste autor que vos escreve.

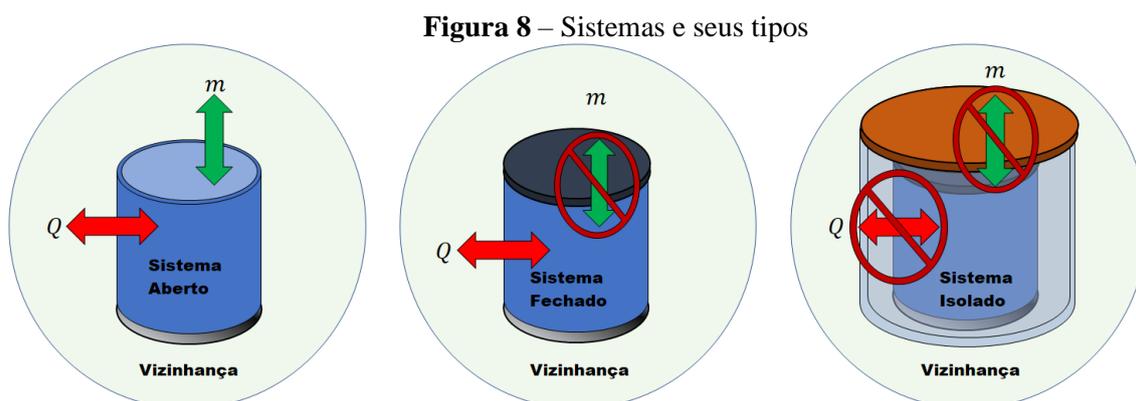
3. Entendendo a Termodinâmica e a Termoquímica

Essa seção é dedicada a uma abordagem conceitual da termodinâmica e da termoquímica levando em conta uma adequação dos assuntos para o professor fazer uso com seus estudantes da forma e com os ajustes que julgar necessários.

3.1. Sistemas

A termodinâmica estuda as trocas de matéria e energia entre a um sistema em estudo e seus arredores comumente chamada de vizinhança. A energia trocada nesses processos podem ser basicamente calor e/ou trabalho que serão mais adiante definidos.

Existem três tipos de sistemas que nos interessam: aberto, fechado e isolado, conforme podemos entender ao olharmos para a **Figura 8**.



Fonte: Autor

Em um sistema aberto existe troca de massa, m , das substâncias ali presentes com a vizinhança, bem como a troca de energia, nesse caso calor, Q , entre eles. Em um sistema fechado só ocorre a troca de calor e em um sistema isolado calor e matéria não são trocados entre um sistema e sua vizinhança.²²

²² No exemplo utilizado na figura só está sendo ilustrado a troca de calor, todavia ressaltamos, que a energia trocada também pode ser na forma de trabalho. Como o trabalho ainda não foi abordado nesse trecho da obra, não foi exemplificado na referida imagem. Essa escolha decorre de se conceber, que o estudante tem um entendimento prévio, ainda que rudimentar, do que seja calor, haja visto, que aquecemos substâncias em nosso cotidiano. Logo, para efeito prático de conceituar os sistemas, você pode trocar a palavra calor por trabalho que não mudaria a classificação do mesmo.

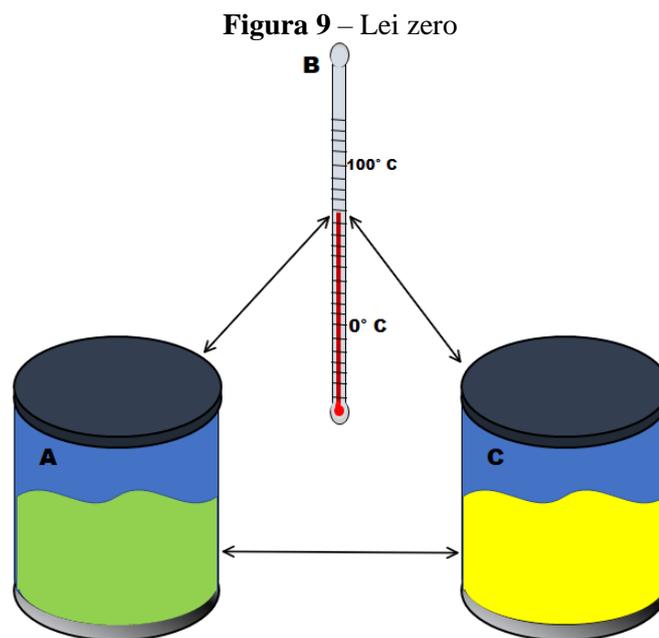
3.2. Calor, temperatura e a lei zero

Ao falar de trocas de calor na seção anterior, não o definimos conceitualmente. Para isso precisamos definir **temperatura**, a **lei zero** da termodinâmica, e logo em seguida o calor

Temperatura: *é uma propriedade de um corpo, ou sistema, capaz de dizer em qual sentido será transferido o calor quando este for colocado em contato com outro, ou ainda, se não haveria troca de calor, no caso do equilíbrio térmico. Trata-se de uma propriedade que interfere em outras de uma amostra, por exemplo na energia cinética média das partículas que a compõem.*

A lei zero da termodinâmica: *Se o sistema A está em equilíbrio térmico com o sistema B e se B está em equilíbrio térmico com C, então A e C também estão em equilíbrio térmico.*

A ilustração da **Figura 9** a seguir expressa essa lei de forma um pouco diferente da convencional com o objetivo de nos levar a uma consequência dela.



Fonte: Autor

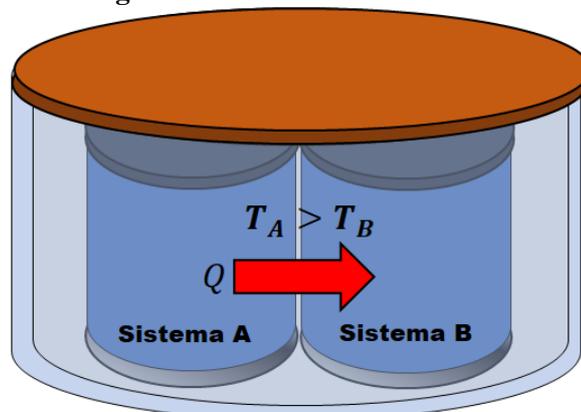
Repare que o sistema **B** é formado por dois tubos, onde o tubo interno contém um líquido que pode sofrer dilatação de acordo com o calor recebido, é um termômetro. Se colocarmos **B** em contato com **A** aguardar o equilíbrio térmico, verificarmos o patamar do líquido vermelho e em seguida colocarmos ele em contato com **C**. Caso esse patamar não se altere significa que **B** e **C** estarão em equilíbrio térmico, conseqüentemente **A** e **C** também. Em outras palavras **A** e **C** terão a mesma temperatura.

A lei zero é a base do conceito de temperatura e nos permite, portanto, justificar o uso de termômetros como instrumentos de medidas de temperatura. (Atkins; Paula, 2003)

O calor: *é um tipo de energia que é transferida entre sistemas ou entre sistema e vizinhança devido a diferença de temperatura entre eles. Onde aquele com maior temperatura transfere calor para o que tiver com menor temperatura. Sistemas a uma mesma temperatura estão em equilíbrio térmico e não trocam calor.*

Isso está ilustrado na **Figura 10**, adiante, onde o sistema **A** por estar com maior temperatura inicial, T_A , transfere calor para o sistema **B** de menor temperatura inicial, T_B .

Figura 10 – Transferência de Calor



Fonte: Autor

O calor transferido do sistema **A**, Q_A , e o recebido pelo sistema **B**, Q_B , quando apenas estes trocam calor entre si e estão isolados da vizinhança e de outros sistemas é dado pela Equação (1) que segue:

$$Q_A + Q_B = 0 \therefore Q_B = -Q_A \quad (1)$$

A consequência que podemos extrair disso é que todo o calor de **A** foi transferido para o sistema **B**. Temos então um exemplo da conservação da energia, em um processo calorimétrico estudado por Joseph Black. (Moore, 2012)

Em seus estudos sobre a calorimetria Joseph Black verificou que existia uma relação entre a quantidade de calor recebida ou cedida, Q , necessária para variar a temperatura, ΔT , em 1°C para uma massa, m , de 1 grama de substância. Essa propriedade é chamada capacidade calorífica específica, c , também conhecido como calor específico, sendo uma propriedade intrínseca de cada substância e podendo ser equacionada por:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (2)$$

Podemos rearranjar a equação (2) deixando o calor em apenas um dos membros da equação ficando com a equação (3).

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (3)$$

Utilizando a equação (3) para o caso exemplificado na **Figura 10** e equacionado em (1) obtemos a equação (4) similar a forma utilizada por Joseph Black. Nela m_A , c_A e ΔT_A , são, respectivamente, a massa, o calor específico e a variação de temperatura, da substância presente em **A**. Enquanto m_B , c_B e ΔT_B são os respectivos equivalentes para a substância presente no sistema **B**.

$$-(m_A \cdot c_A \cdot \Delta T_A) = m_B \cdot c_B \cdot \Delta T_B \quad (4)$$

Outra forma de utilizar a equação (3) é trocar o produto da massa e calor específico, $m \cdot c$, por uma grandeza conhecida como capacidade calorífica ou capacidade térmica, C , obtendo assim a expressão (5).

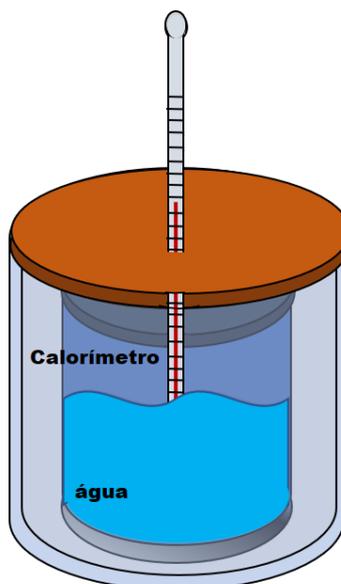
$$Q = C \cdot \Delta T \quad (5)$$

É importante salientar que a capacidade térmica é uma grandeza extensiva quando se trata de uma substância, ou seja, a capacidade térmica de 10 g de água será 10 vezes maior que a capacidade térmica de 1 g de água.

Entretanto utilizar a igualdade (5) é bastante útil quando o sistema não é formado por uma única substância, por exemplo ao se construir um calorímetro simples com lata, isopor para lata e termômetro, devemos calibrá-lo. Isso consiste em determinar sua capacidade térmica. Em outras palavras quantos calorias (ou joules) de energia ele precisa absorver para aumentar sua temperatura em 1°C.

Normalmente se coloca certa massa de água quente, à temperatura conhecida, dentro do calorímetro, conforme ilustrado na **Figura 11**.

Figura 11 – calibrando um calorímetro



Fonte: Autor

Utilizando-se a equação (1) reescrita da forma (6), nos leva a conclusão que todo calor absorvido pelo calorímetro, $Q_{\text{Calorímetro}}$, foi librado pela água, $Q_{\text{água}}$.

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{Calorímetro}} = 0 \therefore Q_{\text{Calorímetro}} = -Q_{\text{água}} \quad (6)$$

Substituiremos o termo, $Q_{\text{Calorímetro}}$, pela expressão (5) e o termo $-Q_{\text{água}}$ pela igualdade (3) ficando como descrito em (7).

$$C_{\text{calorímetro}} \cdot \Delta T_{\text{calorímetro}} = -m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}} \quad (7)$$

A massa de água, $m_{\text{água}}$, sendo previamente medida e seu calor específico, $c_{\text{água}}$, é conhecido na literatura, bem como a temperatura inicial da água e do calorímetro foram medidos. O calorímetro então indicará a temperatura final deles, o chamado de equilíbrio térmico e conseqüentemente as variações de temperatura sofridas por ambos $\Delta T_{\text{calorímetro}}$ e $\Delta T_{\text{água}}$, serão constatadas restará apenas a capacidade térmica do calorímetro, $C_{\text{calorímetro}}$, a ser descoberta.

A partir daí tem-se um instrumento eficaz para fazer medições de trocas de calor em processos físicos e químicos que posteriormente nos permitirá conceituar e mensurar a variação de entalpia de reações químicas e demais processos.

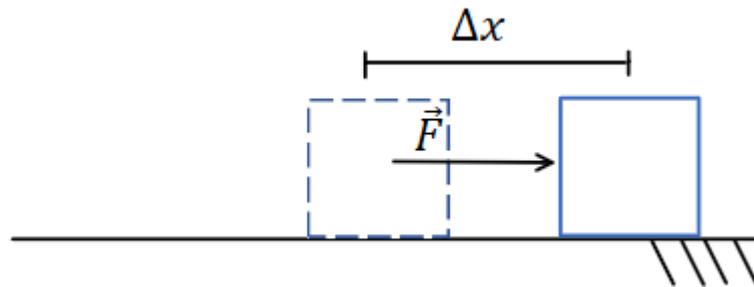
3.3. Trabalho

Agora que ficou estabelecido como lidamos com as transferências de calor em processos calorimétricos vamos nos aprofundar em outra grandeza termodinâmica, o Trabalho.

O trabalho, W , por sua vez, pode ser definido de várias formas no estudo da física, pois temos diversos tipos (Trabalho elétrico, mecânico, que pode ser: trabalho da força elástica, trabalho de expansão de um gás, dentre outros).

Definiremos de forma simples o trabalho mecânico observando para a **Figura 12** onde temos um corpo sendo submetido a uma força, \vec{F} , provocando assim um deslocamento, Δx , no objeto.

Figura 12 – Trabalho exercido sobre um corpo

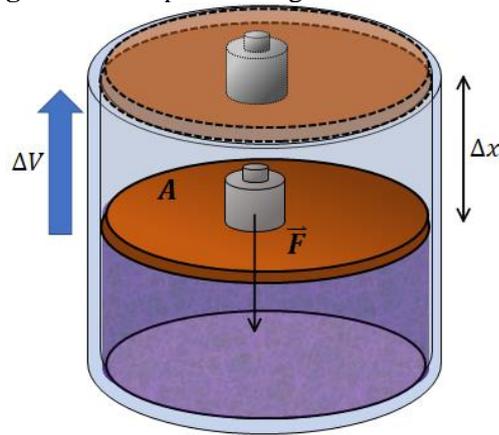


Fonte: Autor

O trabalho, W , é dado pelo produto entre a força, \vec{F} , e a distância percorrida pelo corpo, Δx , em decorrência da ação dela, conforme podemos observar na equação (8) a seguir.

$$W = \vec{F} \cdot \Delta x \quad (8)$$

Frequentemente, estudamos o trabalho em termodinâmica quando temos sistemas fechados com êmbolo móvel e gases que se expandem contra uma força, \vec{F} , tendo um aumento de volume, ΔV , conforme podemos observar na **Figura 13** abaixo.

Figura 13 – Expansão de gás contra uma força

Fonte: Autor

Nesse exemplo, temos um trabalho realizado pelo sistema em decorrência da pressão exercida pelo gás em contraposição a força exercida pelo êmbolo. Ele pode ser calculado pela equação (8) com algumas observações.

Uma delas é que o movimento se dá em sentido contrário a força, \vec{F} , que atua sobre o êmbolo. Isso traz como consequência, e por definição, trabalho negativo a equação (8).

Outra é que a pressão do gás, P , pode ser calculada pela razão entre a força, \vec{F} , e a área, A , do êmbolo isso nos leva a (9).

$$P = \frac{\vec{F}}{A} \therefore \vec{F} = P \cdot A \quad (9)$$

Sabendo também que na expansão do gás variação de volume, ΔV , pode ser calculada como o produto da área do êmbolo, A , pelo deslocamento, Δx , temos (10).

$$\Delta V = A \cdot \Delta x \therefore \Delta x = \frac{\Delta V}{A} \quad (10)$$

Por fim substituindo as expressões (9) e (10) na equação (8) para calcular o trabalho temos (11).

$$W = -P \cdot A \cdot \frac{\Delta V}{A} \therefore W = -P \cdot \Delta V \quad (11)$$

Dessa forma podemos calcular, e definir, o trabalho de expansão de um gás contra uma pressão constante.²³

3.4. A Primeira Lei da Termodinâmica

Para entendermos a primeira lei devemos abordar o conceito de Energia Interna.

Energia Interna: *trata-se da soma da energia cinéticas e potencial, ou seja, energia total, das moléculas que compõem um sistema.*

A Energia interna é uma função de estado isso significa que seu valor depende apenas do estado em que o sistema está e não da forma com a qual o sistema chegou nesse estado. Outros exemplos de função de estado são temperatura, volume, quantidade de matéria e pressão.

Exemplificando, não importa se o sistema para atingir 40 °C foi elevado a 60° e posteriormente resfriado até os 40 °C, ou ainda se ele estava a temperatura ambiente e foi aquecido até atingir os 40 °C, pois a temperatura é uma função de estado.

Calor e trabalho por sua vez não são função de estado pois dependendo do modo termodinâmico escolhido para se fazer uma transformação a quantidade de calor ou trabalho envolvido sofrerá variação.

Por exemplo se um sistema contendo gases com êmbolo móvel, como na **Figura 13**, é submetido a aquecimento ele poderá realizar trabalho pois teremos variação de volume, ΔV . Entretanto se esse mesmo sistema for aquecido, com mesma quantidade de energia, mas tendo seu êmbolo mantido fixo ele não realizará trabalho, $\Delta V = 0$, que implica, $W = 0$.

A primeira lei está intimamente ligada a aceitação da conservação de energia, proposta por Helmholtz. Logo, se um sistema estiver isolado sua energia interna, U , não irá variar ao longo do tempo, $\Delta U = 0$. Contudo, se o sistema estiver apenas fechado, a variação da Energia interna, ΔU , será determinada pela soma dos tipos de energia, calor, Q , e trabalho, W , trocado dele para com a vizinhança. Ficando assim formulada a primeira lei descrita pela equação (12).

$$\Delta U = Q + W \quad (12)$$

²³ Essa fórmula só é válida para uma variação de volume, ΔV , bem pequena de forma a não afetar a pressão do sistema, para ΔV maior o correto seria fazermos a integração do trabalho em cada porção infinitesimal de volume. Isso foi suprimido por julgarmos ser desnecessário nesse material de abordagem mais holística do tema.

3.5. Conceito de Entalpia

O conceito de entalpia aparece nos estudos termodinâmicos de processos que ocorrem a pressão constante. A entalpia, H , em um sistema com determinada energia interna, U , ocupando um volume, V , submetido a uma pressão, P , é definida pela igualdade (13) a seguir.

$$H = U + P.V \quad (13)$$

A definição a partir dessa expressão parece não trazer algum significado físico palpável. Entretanto, podemos entender a entalpia de um sistema inicialmente colocado em um ambiente, como a sua energia interna acrescido do trabalho que esse sistema realiza sobre o ambiente, $P.V$, simplesmente ocupar um certo volume, V . A vantagem do uso da grandeza entalpia se dá que ela leva em conta, por si, as trocas de calor e a realização de trabalho em processos termodinâmicos à pressão constante. (Martins, 2015)

Pelo fato das grandezas que definem entalpia serem função de estado, a entalpia também é, e, como tal, independe do processo que leva um sistema de um estado inicial a outro. Podemos então escrever a igualdade (14) com a variação de entalpia, ΔH , escrita em função da variação da energia interna, ΔU , e do produto da pressão, P , pela variação de volume, ΔV , adiante.

$$\Delta H = \Delta U + P.\Delta V \quad (14)$$

Podemos utilizar a expressão da primeira lei, em (13), e substituir o termo ΔU deixando a igualdade com a forma (15).

$$\Delta H = Q + W + P.\Delta V \therefore \Delta H = Q - P.\Delta V + P.\Delta V \therefore \Delta H = Q \quad (15)$$

Conclui-se que em processos termodinâmicos, à pressão constante e com trabalho de expansão, a variação de **entalpia é igual ao calor transferido sob pressão constante**. Essa definição de entalpia é corriqueiramente utilizada nos livros de ensino médio.

Conceitualmente a variação de entalpia, como qualquer variação de uma grandeza, seria calculada medindo-se a diferença entre o estado inicial desse sistema e o final. Assim também podemos descrever a variação de entalpia em um processo químico como em (16), onde H_f é a entalpia final e H_i é a entalpia inicial do sistema em estudo.

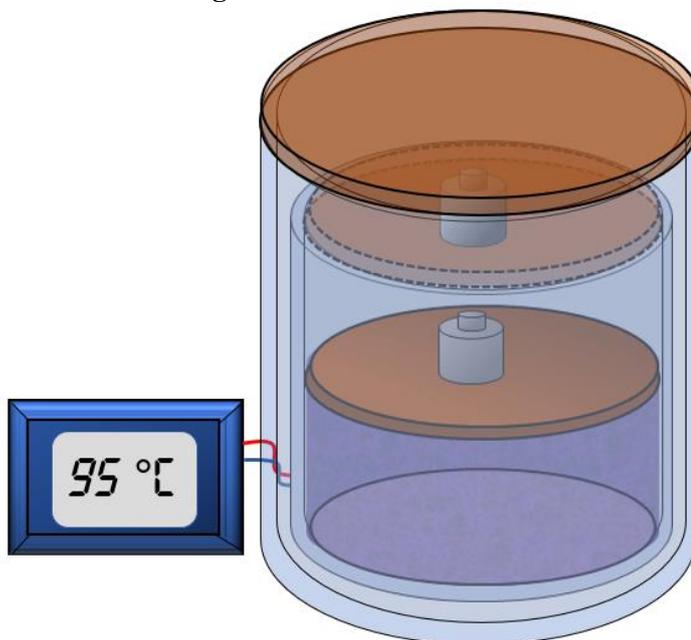
$$\Delta H = H_f - H_i \quad (16)$$

Se estamos estudando uma reação química que naturalmente se processa com reagentes, com entalpia H_r , que se transformam em produtos, com entalpia H_p , podemos escrever (16) na forma (17). Na expressão (17) ΔH_R consiste na variação de entalpia da reação. Colocou-se o símbolo de somatória pois, a entalpia de todos os produtos deve ser somada e subtraída da entalpia de todos os reagentes somados.

$$\Delta H_R = \sum H_p - \sum H_r \quad (17)$$

A maneira de se medir a entalpia em diversos processos físicos e químicos é fazendo as reações em calorímetros isobáricos, que são calorímetros que fazem, as medidas calorimétricas sem que haja variação de pressão, conforme ilustrado na **Figura 14** adiante.

Figura 14 – Calorímetro isobárico



Fonte: Autor, 2022

É interessante ressaltar que conseguimos medir experimentalmente variações de entalpia em calorímetros, e não a entalpia individual de uma substância que depende de vários fatores como o estado físico, forma alotrópica, temperatura e quantidade de matéria.

3.5.1. Estado padrão, Entalpia padrão e Entalpia padrão de formação

Como diversos fatores interferem na entalpia das substâncias, que não se medem individualmente a princípio, escolheu-se fazer medições de variação de entalpia em reações químicas em certas condições para poder compará-las. Escolheu-se assim uma situação comum, padrão, para fazer essas medições chamada de **estado padrão**.

Esse estado padrão se refere a substância pura na pressão de 1 bar. Portanto o estado padrão do gelo é gelo puro à 1 bar. Já um soluto em uma solução líquida está em seu estado padrão quando sua concentração é 1 mol.L⁻¹. (Atkins; Jones; Laverman, 2018)

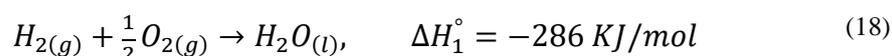
A **entalpia padrão**²⁴ de uma reação por sua vez representado por ΔH^0 , é a entalpia quando os reagentes, nos seus respectivos estados padrão se transformam nos produtos igualmente no estado padrão.

A **entalpia padrão de formação**, ΔH_f^0 , por definição é a variação entalpia para formar 1 mol de uma substância a partir das substâncias simples no estado padrão.

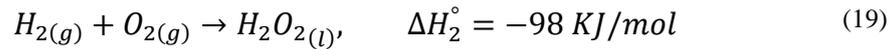
Como as entalpias individuais das substâncias não podem ser medidas de forma direta. Apenas é possível medir as variações de entalpia experimentalmente em calorímetros portanto se fez necessário determinar que algumas substâncias teriam entalpia igual a zero.

Convencionou-se então que a entalpia de formação de substâncias simples em sua forma alotrópica mais estável no estado padrão, chamada entalpia padrão de formação, ΔH_f^0 , como igual a zero. Dessa forma é possível determinar a entalpia de formação de várias substâncias compostas.

Para exemplificar a importância dessa convenção vamos utilizar as equações (18), (19) e (20) a seguir.



²⁴ **entalpia padrão:** Comumente as entalpias padrão são medidas a 25 °C e dessa forma disponibilizadas em tabelas, entretanto o estado padrão de uma substância conceitualmente se refere apenas a pressão de 1 bar. Isso significa que podem ser feitas medidas de entalpia padrão em outras temperaturas.



Podemos perceber que as variações de entalpias, ΔH_1° e ΔH_2° , das reações representadas pelas equações (18) e (19) são conhecidas e podem ser obtidas experimentalmente.

Igualmente a variação de entalpia, ΔH_3° , da reação representada por (20) também poderia ser determinada experimentalmente. Entretanto ao invés de se obter empiricamente, o que demanda tempo e aparato laboratorial, com essa convenção podemos fazer a determinação teórica em pouco tempo.

Para isso observamos que a entalpia de formação de substâncias simples é igual a zero no estado padrão, podemos então considerar ΔH_1° como a própria entalpia de formação da água líquida, $\Delta H_{fH_2O(l)}^\circ$. O mesmo raciocínio pode ser aplicado para concluir que a entalpia de formação do peróxido de hidrogênio, $\Delta H_{fH_2O_2(l)}^\circ$, é igual a ΔH_2° .

Para calcular a entalpia da reação, ΔH_3° , representada por (20), basta lembrar que da expressão (17) reescrevendo-a, como (21), adiante.

$$\Delta H_R = \sum H_P - \sum H_r \therefore \Delta H_3^\circ = \Delta H_{fH_2O_2(l)}^\circ - \left(\Delta H_{fH_2O(l)}^\circ - \Delta H_{fO_2(l)}^\circ \times \frac{1}{2} \right) \quad (21)$$

A entalpia de formação do oxigênio gasoso, $O_2(g)$, é igual a zero no estado padrão e a entalpia de formação da água líquida, $H_2O(l)$, e do peróxido de hidrogênio, $H_2O_2(l)$, foram determinadas experimentalmente. Podemos, assim, determinar a entalpia, ΔH_3° , da reação representada por (20), matematicamente e de forma rápida, sem a necessidade de aparato experimental como realizado em (22).

$$\Delta H_3^\circ = -98 - \left(-286 - 0 \times \frac{1}{2} \right) = 288 \text{ KJ/mol} \quad (22)$$

Temos assim evidenciado a importância de se ter arbitrado as entalpias zero a algumas substâncias no estado padrão.

3.6. Diferentes entalpias

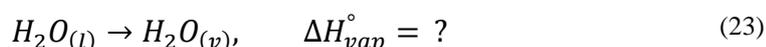
Podemos medir a variação de entalpia em diversos processos físicos e químicos como vaporização de um líquido, combustão de um combustível, a síntese de uma substância, a neutralização de uma ácido por uma base, dentre outros.

Ao estudarmos diversos processos alguns são de maior interesse de verificar a variação de entalpia na termoquímica. Iremos descrever aqueles de maior interesse na construção dessa sequência didática nas seções a seguir, observando que o conceito de entalpia de formação já foi descrito nessa seção.

3.6.1. Entalpia Vaporização

A entalpia de vaporização corresponde ao calor necessário para vaporizar um líquido à pressão constante. Ela tem sempre um valor positivo, pois trata-se de uma mudança de fase do estado líquido para vapor, que requer fornecimento de energia, pois o processo é endotérmico.

Podemos calcular a entalpia de vaporização, ΔH_{vap}° , por mol de água líquida, $H_2O(l)$, ao ser convertida em seu vapor, $H_2O(v)$, no estado padrão, segundo a equação que segue (23).



Para isso utilizamos a expressão (17) e conhecendo-se os valores das entalpias padrão de formação da água líquida, $\Delta H_{fH_2O(l)}^\circ$, e do vapor de água, $\Delta H_{fH_2O(v)}^\circ$, como respectivamente $-286 \text{ KJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ e $-242 \text{ KJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Chegamos na expressão (24) resolvida em (25).

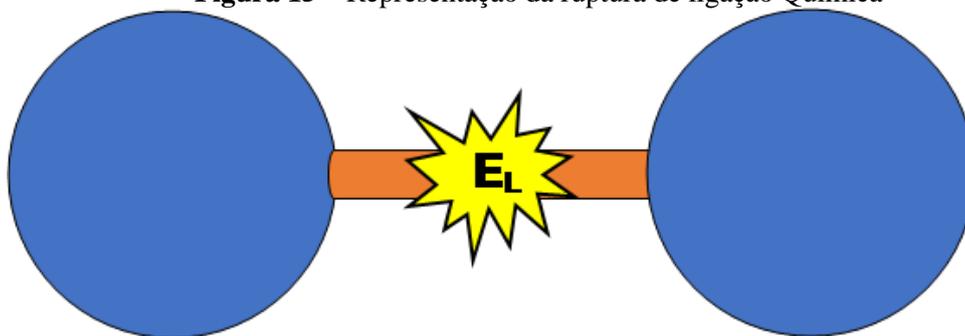
$$\Delta H_R = \sum H_P - \sum H_R \therefore \Delta H_{vap}^\circ = \Delta H_{fH_2O(l)}^\circ - \Delta H_{fH_2O(v)}^\circ \quad (24)$$

$$\Delta H_{vap}^\circ = -242 - (-286) = +44 \text{ KJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (25)$$

3.6.2. Entalpia de Ligação

A entalpia de ligação, também chamada energia de ligação, é a variação de entalpia envolvida na ruptura de um mol de ligações químicas. A **Figura 15** – Representação da ruptura de ligação ilustra que uma molécula deve absorver energia, E_L , para que possa haver o rompimento de sua ligação química. Trata-se portanto de um processo endotérmico.

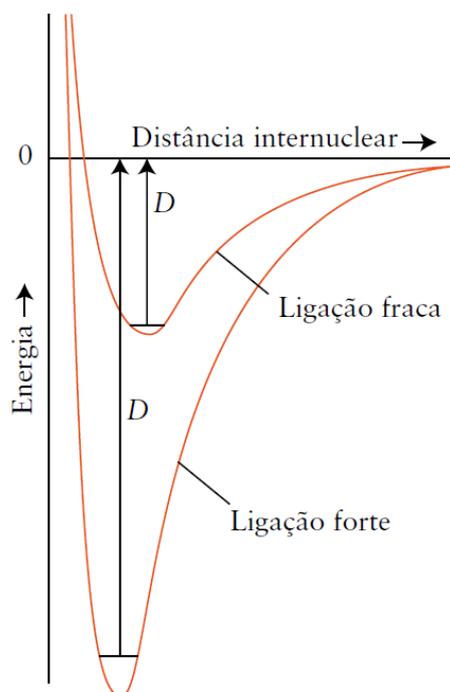
Figura 15 – Representação da ruptura de ligação Química



Fonte: Autor, 2023

Podemos também definir a energia de ligação utilizando um gráfico de energia potencial de uma molécula diatômica em função da distância internuclear de seus átomos, **Figura 16**.

Figura 16 – Energia potencial molecular em função da distância internuclear



Fonte: Atkins, Jones, Laverman (2018, p. 98)

No gráfico a medida que a distância internuclear fica muito grande a energia potencial tende a zero, ou seja, os átomos estão separados e não constituem mais uma molécula. Quando os núcleos estão demasiadamente próximos a energia potencial cresce acentuadamente, em decorrência da repulsão nuclear. A região onde se encontra energia potencial mais baixa, um poço energético, nos informa, no eixo horizontal, a distância internuclear para aquilo que chamamos de comprimento da ligação química.

Dessa forma a energia de ligação, ou Energia de dissociação, D , é a diferença de energia entre o fundo do poço de potencial e a energia dos átomos separados. (Atkins; Jones; Laverman, 2018)

Esse gráfico também evidencia a diferença energética entre uma ligação forte e uma ligação fraca que podem ser justificados por diversos fatores como raio atômico, eletronegatividade, entre outros.

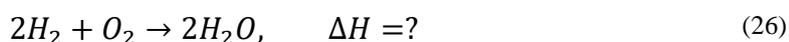
A formação de ligações químicas confere uma maior estabilidade, menor energia potencial, aos átomos formando assim moléculas e por sua vez um menor estado energético quando comparado aos átomos separados.

A ruptura de ligações é, portanto como já afirmado, um processo endotérmico, pois se faz necessário fornecer energia para aumentar a energia potencial do sistema molecular. Com o mesmo raciocínio podemos afirmar que a formação de ligações é um processo exotérmico já que os átomos separados precisam atingir um poço energético e para tal se faz necessário perder energia.

Quando se trata de uma reação química podemos abordar considerando que as ligações químicas das moléculas reagentes são rompidas, um processo endotérmico, e as ligações químicas das moléculas dos produtos são formadas, um processo exotérmico.

Uma aplicação interessante para entalpia de ligação, similarmente a entalpia de formação, está no fato de se poder prever a variação de entalpia de uma reação sem efetivamente realizá-la. Para isso basta se conhecer os valores das entalpias de ligação dos átomos envolvidos.

Vamos demonstrar isso calculando a variação de entalpia da reação representada pela equação (26) adiante.



Precisamos consultar na literatura os valores típicos molares, ou seja, médios molares, das energias de ligação entre átomos de hidrogênio, H – H, entre átomos de oxigênio, O = O, e entre átomos de hidrogênio ligado ao oxigênio, H – O.

Tabela 1 – Entalpias de ligação típicas molares

Tipo de Ligação	Entalpias de Ligação (kJ.mol ⁻¹)
H – H	424
O = O	484
H – O	463

Fonte: Adaptado (Atkins; Jones; Laverman, 2018)

Observando a proporção estequiométrica na equação representada em (26) temos que cada 2 mols de H₂ reage com 1 mol de O₂ e forma 2 mols de água. Dessa forma a reação se processa com a ruptura de 2 mols de ligações H – H para cada 1 mol de ligações O=O e formação de 4 mols de ligações H – O, pois cada mol de água possui dois mols desse tipo de ligação.

Dessa forma para calcular a variação de entalpia da equação (26) devemos fazer a somatória de todas as entalpias de ligação dos reagentes, E_{LR} , e subtrair da somatória das entalpia de ligação dos produtos, E_{LP} , conforme indicado em (27). Em ambas as somatórias cada energia de ligação deve multiplicada pela quantidade em mols de ligações envolvidas.

$$\Delta H_{reação} = \sum E_{LR} - \sum E_{LP} \quad (27)$$

É importante salientar que a subtração, em (27), se faz apenas para mudar o sinal das entalpias de ligação dos produtos, pois como explicado, nos produtos não ocorre a ruptura das ligações, pelo contrário as ligações são formadas.

Assim sendo fica evidente que o sinal das entalpias de ligação dos produtos deve ter seu sinal trocado, pois a formação de ligações, diferente de rupturas, são processos exotérmicos.

Utilizando os dados da **Tabela 1** e a equação (27), iremos calcular a variação de entalpia da reação representada por (26), $\Delta H_{r(26)}$, encontrando (28).

$$\Delta H_{r(26)} = (E_{L\ H-H} \times 2 + E_{L\ O=O}) - (E_{L\ H-O}) \times 4 \quad (28)$$

Substituindo a entalpia de ligação entre hidrogênios, $E_{L\ H-H}$, a entalpia de ligação entre oxigênios, $E_{L\ O=O}$, e a entalpia de ligação entre hidrogênio e oxigênio, $E_{L\ H-O}$, pelos seus respectivos valores encontramos $\Delta H_{r(26)}$ em (29).

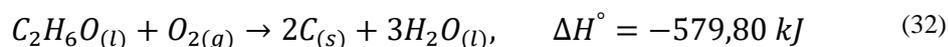
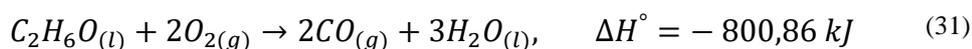
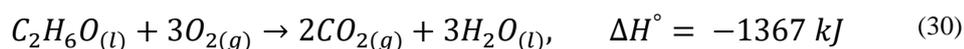
$$\Delta H_{r(26)} = (424 \times 2 + 484) - (463) \times 4 = -520\text{ kJ} \quad (29)$$

Esse exemplo evidencia uma aplicação da energia de ligação, que é prever a variação de entalpia de uma reação sem efetivamente realizá-la experimentalmente.

3.6.3. Entalpia de Combustão

A entalpia de combustão é a variação de entalpia em uma reação de combustão completa de um mol de combustível. Nesse momento é importante diferenciar uma combustão completa de uma combustão incompleta.

Em uma combustão completa ocorre a oxidação máxima das moléculas combustíveis. Vamos tomar como exemplo a combustão do etanol, $C_2H_6O(l)$. Ela pode ocorrer gerando como produtos gás carbônico e água, monóxido de carbono e água e, por fim, carbono grafite e água. Podemos observar a seguir os três casos respectivamente em (30), (31) e (32).



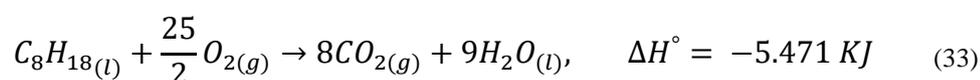
Como se pode observar em uma combustão completa a quantidade de energia liberada é superior quando comparado a combustões incompletas do mesmo combustível.

Analisando as equações (30), (31) e (32), percebe-se que as duas últimas são mais pobres no comburente da combustão e agente oxidante do processo, o oxigênio gasoso, $O_{2(g)}$. A combustão descrita pela equação (30) ocorre com 3 mols de oxigênio por mol de combustível, as demais possuem 2 mols e 1 mol do comburente, respectivamente.

Dessa forma se justifica a energia liberada consideravelmente maior pelo fenômeno descrito em (30) frente a (31) e (32).

Uma aplicação desse conceito ocorre nos motores a combustão interna nos veículos, onde se buscam novas tecnologias a fim de aumentar a eficiência dos motores (Carvalho, 2011). No passado substituíram os carburadores pela injeção eletrônica a fim de diminuir a combustão incompleta obtendo maior autonomia e desempenho. Atualmente com o mesmo propósito vem se aumentando no mercado a oferta de carros com turbo compressores que aumentam a pressão e quantidade dos gases que vão para a combustão.

Uma aplicação interessante conhecendo-se da entalpia de combustão de diferentes está no desempenho de motores funcionando com diferentes combustíveis. Como exemplo podemos pegar a entalpia de combustão da gasolina (simplificado como $C_8H_{18(l)}$) e compará-lo com o etanol na equação (30).



Nosso objetivo é comparar a eficiência por litro de combustível comprado. Para tal sabemos que os valores de entalpia de combustão apresentado nas equações (30) e (33) são mensurados por mol de combustível.

Considerando que as massas molares do etanol e da gasolina são respectivamente 46 g/mol e 114 g/mol temos que a cada 46 gramas de etanol queimado 1367 KJ são liberados e a cada 114 gramas de gasolina a energia liberada é de 5.471 KJ .

Converteremos em volume, V , essas massas, m , através da sua relação com a densidade, d , desses combustíveis, pela relação (34). Resolvida em (35) e (36) encontrando o volume de etanol, V_{et} , e o volume de gasolina, V_{gas} , no estado líquido respectivamente.

$$V = \frac{m}{d} \quad (34)$$

$$V_{et} = \frac{46 \text{ g}}{0,82 \text{ g/mL}} = 56,1 \text{ mL} \quad (35)$$

$$V_{gas} = \frac{114 \text{ g}}{0,72 \text{ g/mL}} = 158 \text{ mL} \quad (36)$$

Agora iremos calcular a energia liberada, E_{Lib} , na queima de um litro de cada combustível que genericamente pode ser expressa em função da entalpia padrão de combustão,

H_C° , e do volume ocupado por um mol do combustível no estado líquido, $V_{M(l)}$ em mL, pela expressão (37). Resolvida encontrando a energia liberada por litro de etanol, E_{et} , e a energia liberada por litro de gasolina, E_{gas} , em (38) e (39) respectivamente.

$$E_{Lib} = \frac{|H_C^\circ| \times 1000 \text{ mL} \cdot L^{-1}}{V_{M(l)}} \quad (37)$$

$$E_{et} = \frac{|-1.367 \text{ KJ}| \times 1000 \text{ mL} \cdot L^{-1}}{56,1 \text{ mL}} = 24.367 \text{ KJ} \cdot L^{-1} \quad (38)$$

$$E_{gas} = \frac{|-5.471 \text{ KJ}| \times 1000 \text{ mL} \cdot L^{-1}}{158 \text{ mL}} = 34.627 \text{ KJ} \cdot L^{-1} \quad (39)$$

Por fim vamos calcular em (40) a relação percentual entre essas energias por litro de combustível a fim de entender melhor o aproveitamento energético de um motor .

$$\frac{E_{et}}{E_{gas}} \times 100\% = \frac{24.367 \text{ KJ} \cdot L^{-1}}{34.627 \text{ KJ} \cdot L^{-1}} \times 100\% = 70,4 \% \quad (40)$$

Ao analisarmos essa relação observamos que cada litro de etanol consumido irá liberar cerca de 70 % da energia quando comparado à gasolina. Isso significa que se um carro fizer em média um deslocamento de 10 Km por litro de gasolina consumida ele deverá fazer em média 7 Km por litro de etanol consumido.

Isso também justifica que em alguns estados no Brasil os postos devem informar a relação de preço entre etanol e gasolina e indicar que em caso dessa relação ser inferior a 70% é mais vantajoso o uso do etanol, caso contrário o abastecimento com gasolina será mais recomendado.

4. Cultura, movimento e Aprendizagem Maker

A cultura maker está ancorada em uma mudança de hábitos que vai na contra-mão do consumo e da terceirização dos serviços e está baseada na cultura do DIY (do inglês, *Do It Yourself*) ou faça você mesmo (FVM).

O ideia do DIY passa a fazer parte da sociedade americana no início do século 20, como uma ressignificação do papel masculino do marido suburbano americano nos afazeres do lar. Nesse contexto esse indivíduo passa a ter uma participação nos serviços braçais do lar como consertos, reformas, reparos, instalações diversas e até fabricação de móveis, em detrimento de contratar uma mão de obra especializada. As casas por sua vez passam a ter cômodos contendo mini oficinas, sendo uma área de domínio masculino (Gelber, 1997).

O termo DIY passa a fazer parte da sociedade americana ao longo primeira metade do século 20, atingindo várias classes e se tornando uma mistura de passa tempo e trabalho doméstico gratificante, seja por economia de dinheiro ou meramente por lazer, a depender a classe social (Gelber, 1997).

As ferramentas e máquinas tradicionais ganharam um reforço na década de 1950. Pesquisadores do MIT, Massachusetts Institute of Technology, em 1952, conectaram um computador a uma fresadora típica, criando a primeira máquina de controle numérico computadorizado, CNC. A partir dessa primeira fresa giratória, todos os tipos de ferramentas de corte, desde, aquelas com jatos de água à lasers, foram montados em plataformas controladas por computador (Gershenfeld, 2012).

Inicia-se então uma nova era da fabricação digital onde as máquinas controladas numericamente por computador, permitiram construir quase todos os componentes direta ou indiretamente comercializados pela indústria atual (Gershenfeld, 2012).

Hoje, as máquinas controladas numericamente fazem quase todos os produtos comerciais, seja diretamente (produzindo tudo, desde capas de laptop a motores a jato) ou indiretamente (produzindo as ferramentas que moldam e estampam produtos produzidos em massa)

Entretanto os descendentes dessas máquinas, possuem uma limitação, pois eles podem cortar, mas não podem alcançar estruturas internas do objeto a ser feito.

Na década de 1980, no entanto, surgiram no mercado processos de fabricação controlados por computador que acrescentavam, em vez de remover, materiais (chamados de manufatura aditiva). Graças à impressão 3-D, um rolamento e um eixo podem ser construídos pela mesma máquina ao mesmo tempo. Uma variedade de processos de impressão 3D está agora disponível, incluindo fusão térmica de filamentos de plástico, uso de luz ultravioleta para reticular resinas poliméricas, depósito de gotículas adesivas para ligar um pó, corte e laminação de folhas de papel e brilho de um feixe de laser para fundir partículas metálicas. As empresas já usam impressoras 3D para modelar produtos antes de produzi-los, um processo conhecido como prototipagem rápida (Gershenfeld, 2012).

A manufatura aditiva nos últimos anos vem se popularizando e se tornando cada vez mais acessível, já é possível encontrar impressoras 3D por valores abaixo de cem dólares. Associado a isso kits de prototipagem contendo microcontroladores, LEDs, displays, sensores e outros dispositivos podem ser comprados por metade desse valor. Tornando acessível diversas instituições, inclusive escolas montarem seus ambientes para disseminar a cultura maker, os chamados **espaços makers**²⁵.

A cultura maker no ambiente escolar também se disseminou em todo território nacional brasileiro, onde, devido a diversas iniciativas, cada vez mais escolas vem adquirindo essas impressoras e outros dispositivos e kits usados na prototipagem de objetos com intuito de utilização no ensino (Pinto; Azevedo; *et al.*, 2018) (Brasil, 2020).

Provavelmente você que lê esse material deve ter um impressora 3D em sua escola ou em breve terá nela ou em sua casa. Ainda que não possua, na sua região provavelmente devem haver espaços makers com horários para atender o público em geral.

Nesses espaços as pessoas fazem e compartilham projetos e objetos colocando as mãos na massa e vivenciando o FVM que é a essência da cultura maker.

Quando se fala dessa vivência no ambiente escolar, associado a uma estratégia pedagógica com intuito de aprender determinadas habilidades e competências curriculares, estamos na realidade trabalhando uma metodologia de ensino baseada naquilo que chamamos de aprendizagem maker. Trata-se em outros termos do aprender fazendo, que se alicerça do ponto de vista teórico acadêmico na educação experimental, na pedagogia crítica e no construcionismo, respectivamente de Jhon Dewey, Paulo Freire e Seymour Papert (Blikstein, 2013).

5. Desenho de Objetos

Como todo programa ou aplicativo de computador, por mais intuitivo que ele possa ser, requer algum esforço para aprender a operá-lo e extrair os resultados desejados com ele. Essa regra serve para editores de texto, planilhas, imagens, e claro, não é diferente para softwares de desenho e modelagem de objetos em 3D.

²⁵*Espaços Makers*: outras denominações podem ser aplicadas como *Makers spaces*, *FabLabs*, *FabLearns*, *Laboratório Maker*, *Hacker spaces*. Existem algumas diferenças entre essas nomenclaturas, que não cabem aqui diferenciar, mas em suma todos eles são espaços físicos de disseminação da cultura Maker contendo alguns equipamentos de prototipagem de objetos.

Entretanto existem vários utilitários para desenho 3D desde os mais simples e gratuitos com ferramentas rudimentares para usuários iniciantes até os pagos e sofisticados, usados por profissionais das engenharias, arquitetura e outros que necessitam de um trabalho mais avançado normalmente em projetos empresariais.

Nesse trabalho, que é voltado para professores atuando no ensino médio, escolhemos fazer os desenhos na plataforma TinkerCad²⁶ (Autodesk, [s.d]), por ser gratuito, simples e disponível na web, ou seja, não precisa ser instalado em computador. Sendo o requisito mínimo que o computador acesse um navegador de internet moderno.

Adiante temos a **Figura 17** mostrando a apresentação inicial da plataforma. O usuário antes de iniciar deve se inscrever (em “inscrever-se”) e recomendamos que nesse cadastro seja feita a conta de “educador” para que o professor possa usar com seus alunos.

Figura 17 – Tela inicial do Tinkercad

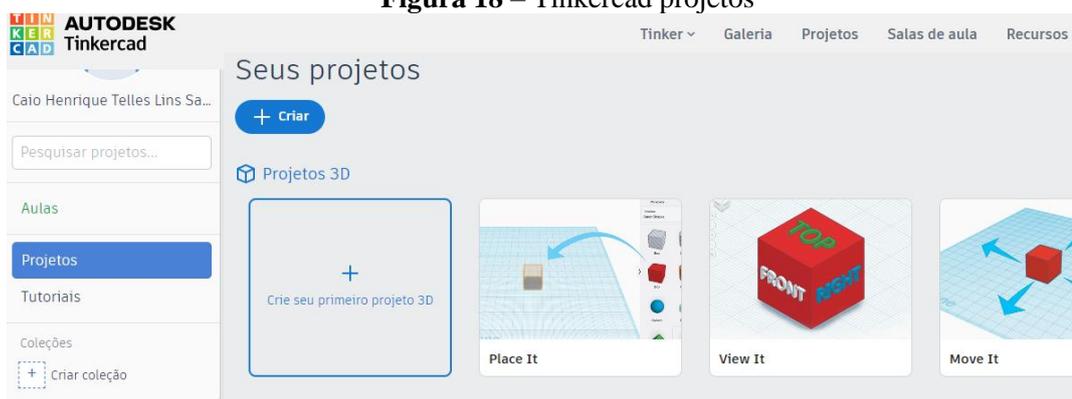


Fonte: (Autodesk, [s.d]) adaptado pelo autor

Após o cadastro simples que é feito com e-mail e alguns dados ou se conectando por uma conta Microsoft, Apple, Google ou Facebook você já estará apto a iniciar seus projetos de desenho 3D. Para isso basta ir em “projetos” e “crie seu primeiro projeto” conforme podemos ver na **Figura 18** a seguir. A plataforma contém alguns tutoriais básicos mostrando algumas ferramentas conforme podemos ver na referida figura: “Place It” “View It” “Move It” que mostram respectivamente como colocar um objeto, como visualiza-lo por diferentes perspectivas e como movê-lo.

²⁶ Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>

Figura 18 – Tinkercad projetos

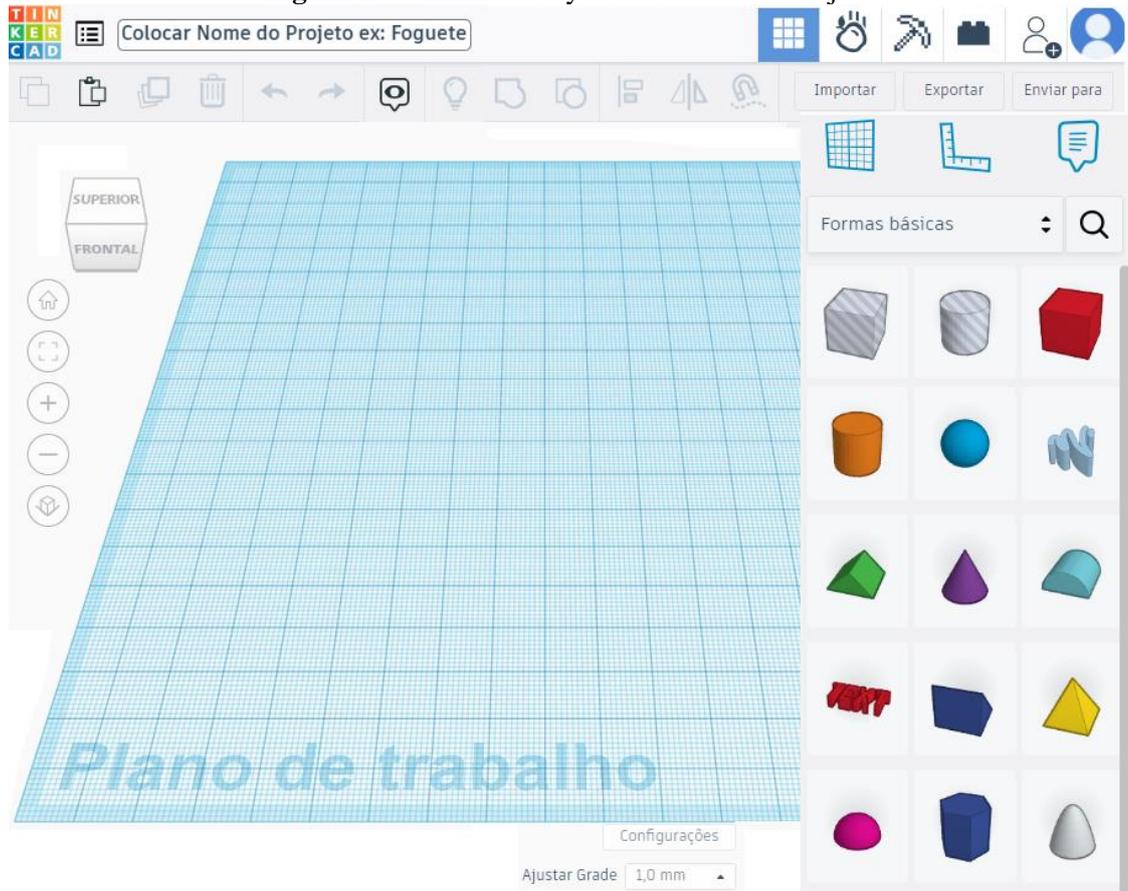


Fonte: (Autodesk, [s.d]) adaptado pelo autor

Apesar dos tutoriais consideramos eles insuficientes para você usuário e leitor dessa obra fazer por exemplo um foguete. Objeto esse que será delegado por você ao estudante elaborar para o desenvolvimento dessa proposta pedagógica, uma sequência didática ensinando termoquímica.

Vamos ilustrar as etapas para auxiliá-lo nessa tarefa. Ao entrar em “crie seu primeiro projeto” você irá se deparar com a tela layout de desenho mostrada na **Figura 19**. Nela temos ao centro o “Plano de trabalho” que é onde você deposita as formas geométricas que aparecem a direita e as manipula para construir o artefato 3D desejado. A esquerda existem botões para ajuste de visão do plano de trabalho e na primeira linha superior a esquerda você pode nomear o projeto. Ainda nessa linha é possível alternar entre os modos projeto 3D (que está selecionado), simLab (ícone com maçã), blocos (ícone com picareta), tijolos e convidar alguém para o projeto. Na segunda linha superior temos na sequência as opções copiar, colar, duplicar, excluir, desfazer, refazer, alternar visibilidade de notas, mostrar tudo (ícone de lâmpada), agrupar, desagrupar, alinhar, espelhar, cruzeiro, importar, exportar e enviar para.

Figura 19 – Tinkercad layout de desenho de objeto



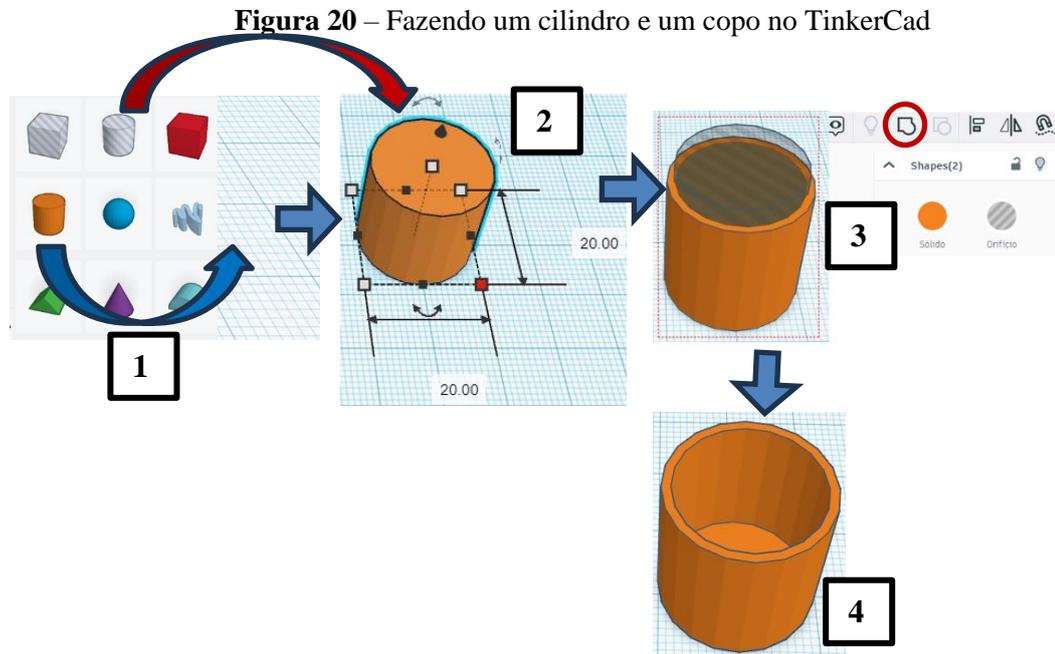
Fonte: (Autodesk, [s.d]) adaptado pelo autor

Boa parte desses nomes são comuns a um usuário que já precisou operar um editor de imagens simples como o Paint, da Microsoft, o que torna o aprendizado e a manipulação dele bem intuitiva. Entretanto como existem diferenças vamos abordar as funções necessárias ao desenho de um foguete para guiá-lo.

Inicialmente precisamos entender que a forma de desenhar objetos 3D para um iniciante consiste basicamente em usar formas geométricas básicas, chamados de sólidos, e fazer cortes nela com outras formas geométricas, aqui chamados de orifícios, que vão subtrair partes desse sólido.

Então se quisermos fazer um cilindro todo preenchido, observar a **Figura 20**, basta selecionar o cilindro (laranja) com o mouse e arrastá-lo para o plano de trabalho (em **1**), em seguida ajustar as medidas que queremos dele através dos botões que aparecem nas quinas do objeto (em **2**). Entretanto se quisermos transformar esse cilindro em um copo devemos colocar um orifício cilíndrico (cilindro cinza) sobre esse primeiro cilindro (seta curva vermelha), ajustar suas medidas, deixando-as menores que o cilindro sólido, centralizando-o no sólido (deixando como em **3**), selecionar com o mouse clicando e arrastando as duas figuras (pontilhado

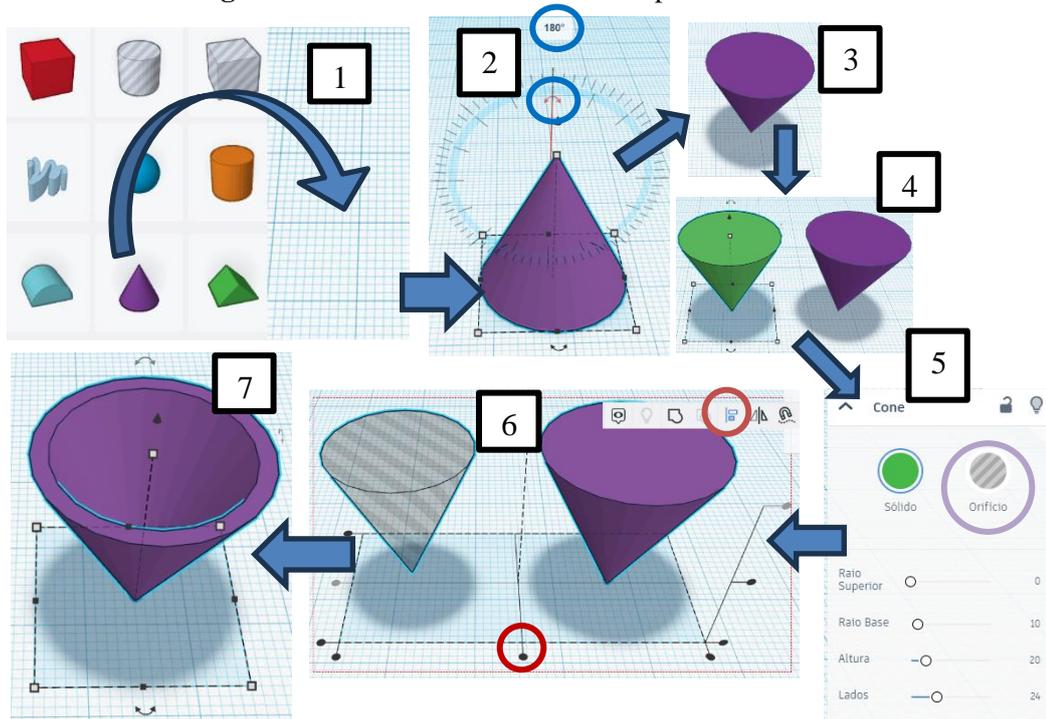
vermelho, em 3), usar botão agrupar (círculo vermelho, em 3). Por fim obtemos um copo como objeto final após esses procedimentos.



Fonte: (Autodesk, [s.d]) adaptado pelo autor

Repare que isso que foi feito com um cilindro que passou a ser um copo, pode ser realizado, por exemplo, com um cone conforme mostrado na **Figura 21**. No Caso Inicia-se escolhendo o cone e arrastando para o plano de trabalho (indicado em 1), em seguida usa-se o botão para rotacionar a figura em um ângulo de 180° (destacado com círculos azuis, em 2), deixando o cone com seu vértice tocando o plano de trabalho como em 3. Posteriormente usa-se o botão duplicar, ou ainda com a figura selecionada a combinação **CTRL + C** seguido de **CTRL + V**, com o intuito de duplicar o cone obtendo a situação 4. O cone gerado tem a mesma cor e dimensões, trocamos a cor na opção “sólido”, em 5, apenas para diferenciar o primeiro, de cor lilás, de sua cópia duplicada, agora verde. Selecionando o cone verde um menu com opções aparecem, como em 5, e trocando a opção “sólido” por “orifício” (indicado com círculo amarelo) e diminuindo um pouco suas dimensões temos a situação 6. Selecionamos ambos os cones com o mouse e usamos o botão alinhar, destaque em laranja, em seguida usamos o botão preto destacado em vermelho obtendo o copo cônico em 7.

Figura 21 – Fazendo um cone e um copo cônico no TinkerCad

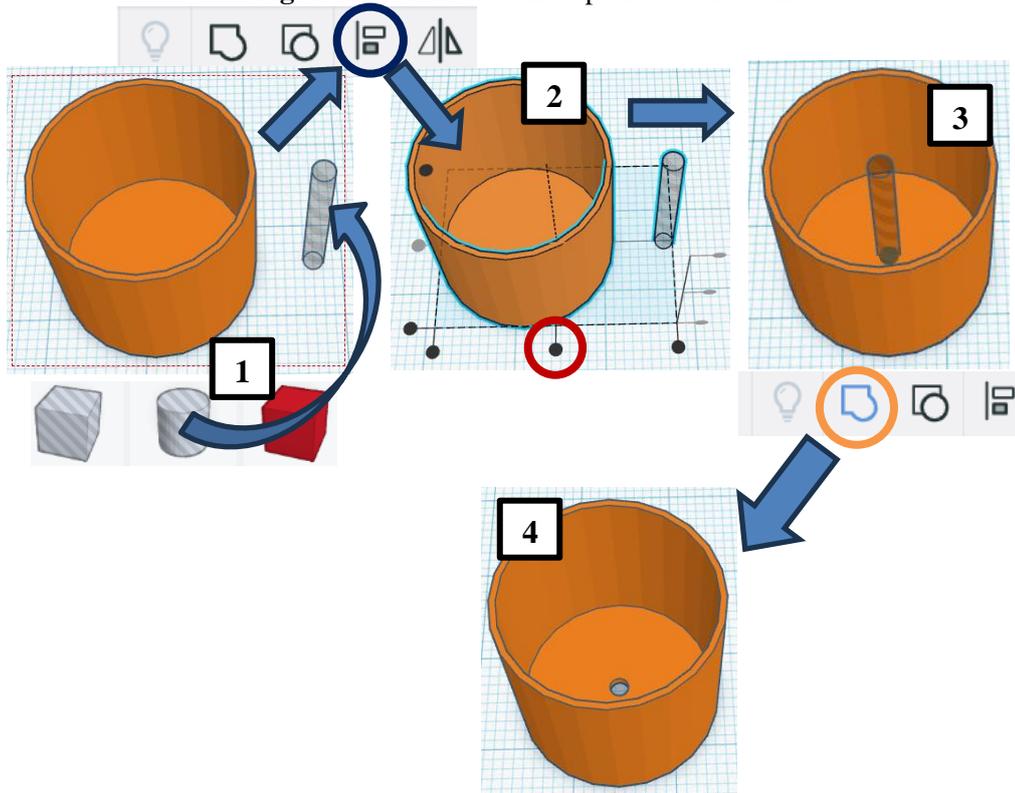


Fonte: (Autodesk, [s.d]) adaptado pelo autor

Podemos agora usar a sequência da **Figura 22**, a seguir, para fazer um orifício no fundo do copo cilíndrico obtido na **Figura 20**. Vamos começar fazendo um orifício cilíndrico colocando-o no plano de trabalho (seta curva azul em **1**) e ajustar suas medidas diminuindo-o. Em seguida selecionar ambas as figuras clicando e arrastando com o mouse (pontilhado vermelho em **1**), usar o botão alinhar (círculo azul), usar botão preto para alinhá-los pelo centro (círculo vermelho, em **2**), assim obtendo a situação **3**.²⁷ Basta usar o botão agrupar (círculo verde, em **3**) para unificar o copo com o furo formando uma peça única, em **4**.

²⁷ A depender de como seja posicionado o orifício cilíndrico no plano de trabalho, mais botões de alinhamento serão necessários de serem usados além do destacado com o círculo vermelho.

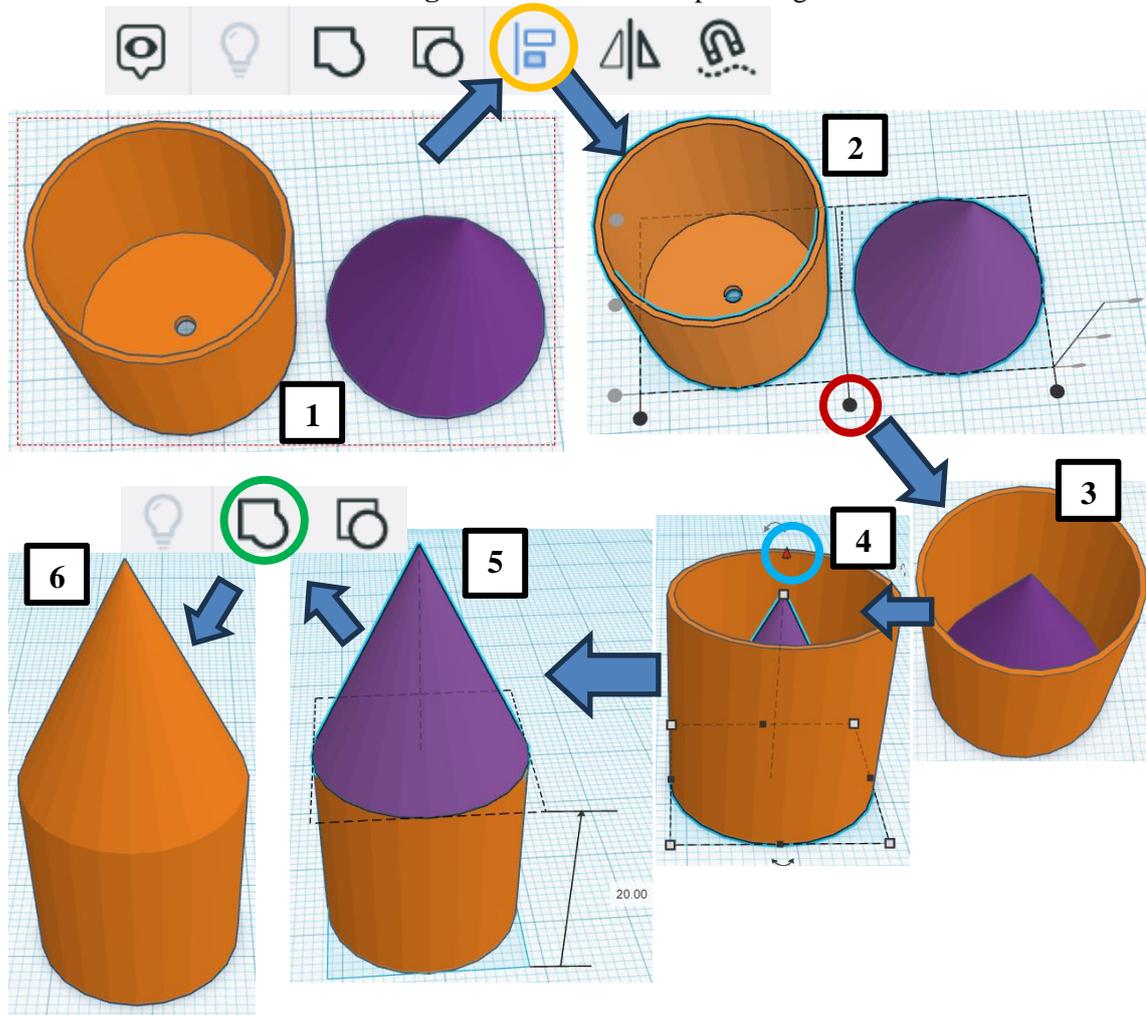
Figura 22 – Fazendo um copo furado no TinkerCad



Fonte: (Autodesk, [s.d]) adaptado pelo autor

O real intuito de termos demonstrado como se faz o copo furado da **Figura 22** e o copo cônico da **Figura 21** é na realidade unirmos essas duas peças e formar o corpo de um foguete utilizando o botão agrupar. Podemos ver as etapas na **Figura 23**. Elas consistem em selecionar ambos os sólidos, pontilhado vermelho em **1**, usar o botão alinhar, destacado em amarelo, usar botão para alinha-los ao centro, destacado em vermelho em **2**, obtendo a situação **3**. Em seguida selecionar apenas o cone e usar o botão de deslocamento vertical (círculo azul, em **4**) clicando e arrastando com o mouse elevando-o em relação ao plano de trabalho até atingir a situação **5**. Em seguida usando o botão agrupar (círculo verde) passamos a ter uma figura unificada, o corpo de um foguete, com orifício para entrada de combustível e saída de gases, em **6**.

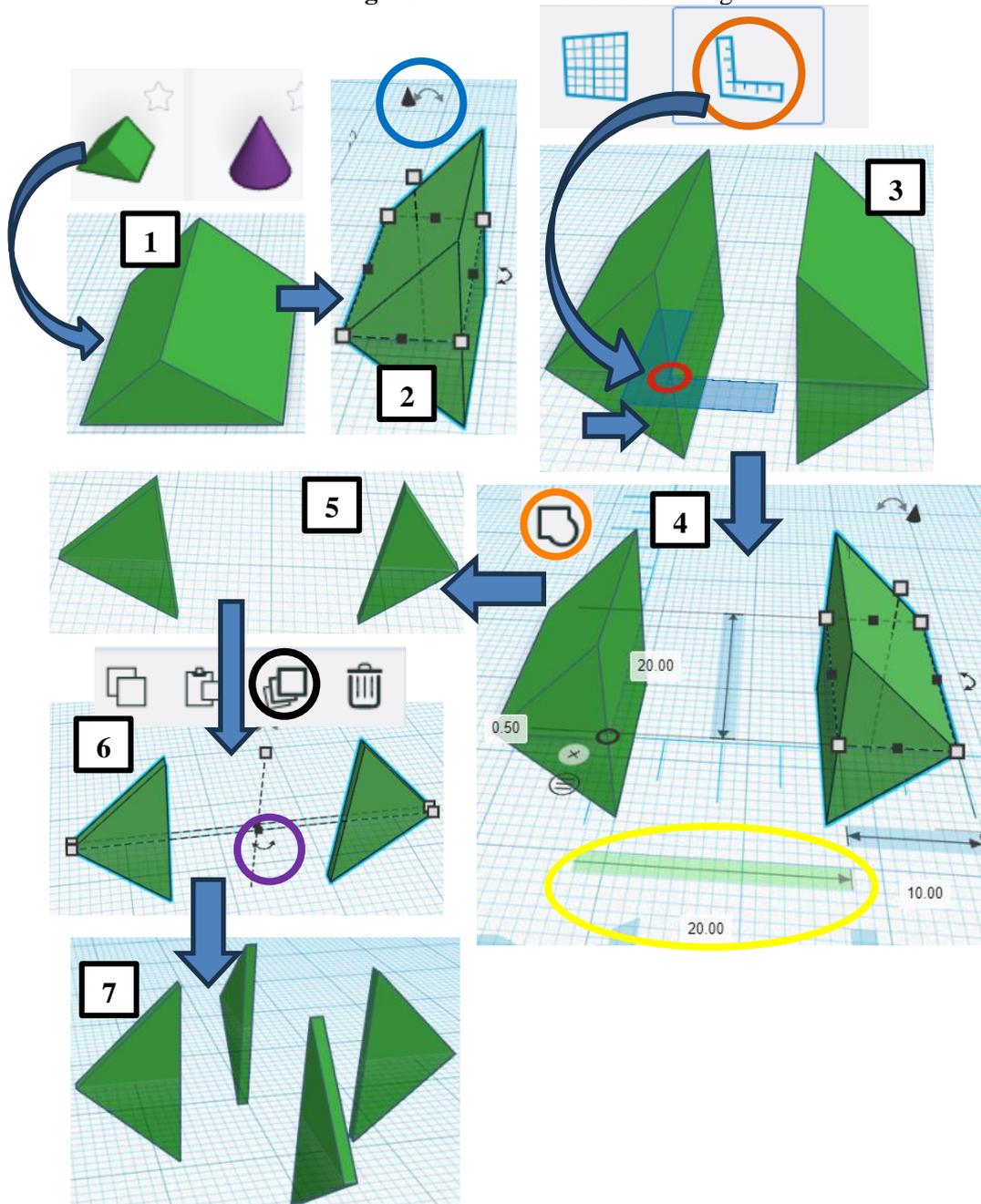
Figura 23 – Fazendo corpo do foguete



Fonte: (Autodesk, [s.d]) adaptado pelo autor

Para completar o foguete basta fazer as asas através da sequência descrita na **Figura 24**. Começamos escolhendo a forma básica “telhado” colocando-a no plano de trabalho, em **1**. Fazendo ajuste de rotação e distancia ao plano vertical (círculo azul) deixamos como em **2**. Fazemos um cópia, usando CTRL + D, ajustando para a cópia ficar como em **3**, se tiver dificuldade em fazê-lo manualmente o botão alinhar pode ajudar. Ainda em **3** usamos botão Régua (círculo verde), selecionamos uma das figuras e ajustamos para que a distância entre as duas figuras fique igual ao diâmetro do corpo do foguete, como em **4** (destaque circular amarelo). Usamos o botão “agrupar” (círculo laranja) para que as duas peças virem uma só e diminuimos sua profundidade deixando como em **5**. Em seguida usamos o botão duplicar, em **6** (círculo preto), e rotacionamos essa cópia em 90° (círculo lilás), chegando a situação **7**, sendo importante após a rotação, selecionar os 2 pares de asas e usar o botão agrupar para que os pares de asas (tanto o primeiro quanto a copia rotacionada) não mudem sua posição relativa e possam ser devidamente conectadas ao corpo do foguete.

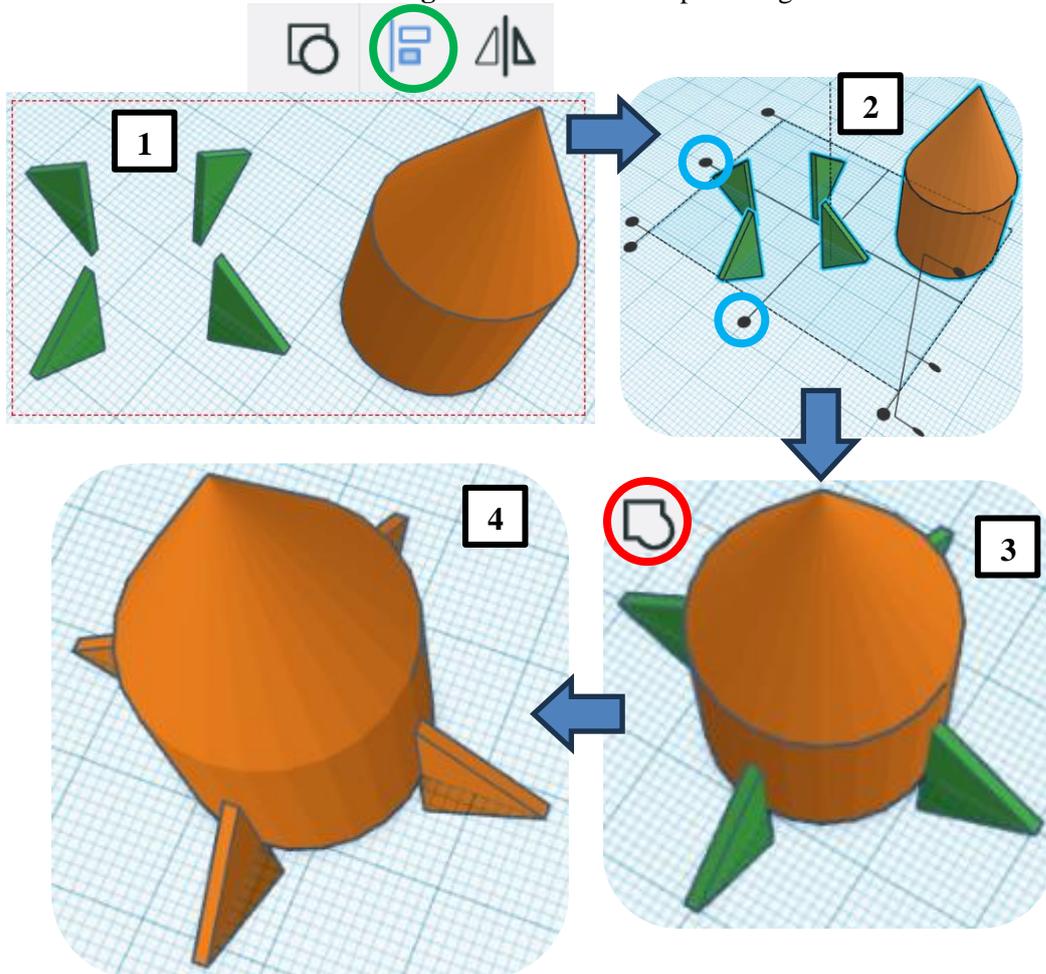
Figura 24 – Fazendo as asas do Foguete



Fonte: (Autodesk, [s.d]) adaptado pelo autor

Por fim para completar o foguete precisamos conectar as asas ao corpo do foguete. Para isso vamos seguir as instruções da **Figura 25**. Inicialmente vamos selecionar o corpo e as asas do foguete (pontilhado vermelho, em 1) e usar o botão alinhar (círculo verde), levando a situação 2. Usar os botões de alinhamento em destaque (círculo azul, em 2), deixando a aparência descrita em 3. Por fim usar o botão agrupar (círculo vermelho, em 3) ficando com o objeto definitivo, um foguete, na situação 4.

Figura 25 – Unindo corpo do foguete as asas



Fonte: (Autodesk, [s.d]) adaptado pelo autor

Alguns comentários são interessantes de serem feitos aqui. Primeiro que esse caminho escolhido por nós para a construção do foguete nos levou a um exemplar simples, porém, funcional. Segundo, portanto, existem outros caminhos que levarão foguetes esteticamente mais bonitos e elaborados, os próprios vídeos indicados no **Quadro 22** desse material levam a isso. Entretanto quisemos deixar registrado aqui as etapas mais elementares para mostrar que é possível fazer de forma trivial. Terceiro, todavia, não significa que você deve tolher a criatividade de seus estudantes ao prototiparem os foguetes, o aspecto emocional, de criar por si, é o que motiva e proporciona o engajamento em uma prática de ensino aprendizagem Maker. Por isso apenas os guie a superar as dificuldades nesse processo e deixe que eles se divirtam e explorem suas preferências.

Após o desenho do foguete no Tinkercad, as imagens deverão ser exportadas da plataforma em um formato STL armazenadas no computador e manipuladas com um software

de impressão gerando um arquivo para impressão que levará algumas horas a depender do tamanho da peça.

Dentro da sequência didática proposta nesse trabalho, onde se usa o horário do componente curricular para realização do projeto, não reservamos tempo para que dentro da aula os alunos façam a impressão. Sabemos que a depender da instituição o acesso as impressoras 3D nem sempre é pleno por parte dos estudantes e, por isso, recomendamos que o professor pegue os arquivos gerados por seus estudantes e faça a impressão em um horário oportuno para chegar na aula da semana seguinte a elaboração do desenho 3D com os foguetes impressos.

Repare que o funcionamento desse foguete será com vapor de combustível, sendo o combustível inserido na forma líquida em pequena porção dentro do foguete pelo orifício, sendo agitado para que vaporize lá dentro e se misture com o ar e posteriormente a porção líquida que sobrar dentro do foguete deve ser escoada de dentro dele. Por fim após posicionar em um local seguro a ignição pode ser realizada com um isqueiro acendedor ou similar. Recomendamos que essa etapa seja realizada com atenção e sob supervisão do professor.

6. Sequência Didática

Uma sequência didática (SD) consiste sistematicamente em um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de alguns objetivos educacionais contendo um princípio e um fim conhecido por professores e alunos. (Zabala, 2014)

Atividades ou tarefas são por sua vez, de acordo com Zabala (2014), uma das unidades básicas que compõem o processo ensino-aprendizagem e apresentam, por fim, determinadas intenções educacionais mais ou menos explícitas e podem proporcionar uma análise, ao menos ilustrativa, dos diferentes estilos pedagógicos.

As atividades, por si só, são uma parte do todo sendo então incapazes de definir as diferentes formas de intervenção pedagógica. Entretanto quando organizadas em uma série de forma a permitir o estudo e a avaliação da prática educativa sob uma perspectiva processual formam a sequência didática que possui as fases de planejamento, aplicação e avaliação do referido processo e que, para Zabala (2014), constituem uma unidade preferencial para análise da prática educativa.

Um professor de posse de uma sequência didática, como esta, pode utilizá-la como instrumento guia para conduzir o processo de ensino-aprendizagem com seus alunos, sem

deixar, é claro, de adaptá-la a sua realidade e contexto educacional. Dessa forma a sequência didática não é um produto rígido, uma receita, e sim maleável que o professor tem a liberdade de torná-la factível dentro de seu contexto para troca de saberes com os estudantes.

Objetivos a serem atingidos com a utilização dessa sequência didática são:

- Utilizar uma estratégia de ensino baseada na aprendizagem maker para ensinar termoquímica.
- Promover a aprendizagem do conteúdo de termoquímica
- Promover um aprendizado mais significativo dos conteúdos de termoquímica que estejam mais conectados com a nova geração de estudantes mais imbuídos e apropriados das inovações tecnológicas e da cultura do faça você mesmo.

7. Aplicação da sequência didática

A SD irá contemplar 8 aulas de sessenta minutos da disciplina de Química do segundo ano do ensino médio. Podendo ser adaptada de acordo com a carga horária do professor em sua respectiva turma. As aulas terão as seguintes ações a serem executadas conforme resumo no **Quadro 22** a seguir.

Quadro 22 – ações da sequência didática

Aula	Assunto(s)	O que será executado?
1	Introdução a termoquímica e a termodinâmica: - Apresentação da proposta maker - Conceitos básicos (sistemas, Calor, temperatura) - Primeira lei da termodinâmica	- Questionário prévio com conhecimentos em termoquímica - Aula expositiva dialogada introdutória a termoquímica (Calor, temperatura, trabalho, sistema, vizinhança, energia interna) - 1ª Lei da termodinâmica (vídeo a ser apresentado)
2	Termoquímica: Primeira lei da termodinâmica Entalpias padrão, de formação, de combustão	- Aplicação da primeira Lei da termodinâmica em motor de combustão (vídeo a ser apresentado) - Discussão do tema, 1ª Lei da termodinâmica. - Explicar os diferentes conceitos de entalpia. Resolução de exercícios
3	Termoquímica: - Estequiometria na termoquímica, Entalpia de combustão Poder calorífico dos combustíveis	- Discutir comparativamente a partir dos cálculos termoquímicos a eficiência dos combustíveis etanol e gasolina (relação 70%). - Verificar o poder calorífico de outros combustíveis.
4	Termoquímica: Lei de Hess, Funcionamento de foguetes	- Demonstrar aplicação da lei de Hess. - Mostrar funcionamento de foguetes (vídeo a ser apresentado)
5	Prototipação de foguetes (aula no laboratório maker)	- Uso da plataforma TinkerCad para desenhar foguetes. (vídeo a ser apresentado)

		- Observação: necessidade de computadores ou tablets na aula, preferencialmente no laboratório maker.
6	Prototipação de foguetes (aula no laboratório maker)	- aula dedicada a construção e impressão de foguete usando as impressoras 3D. (sugestão de vídeo) - Professor irá acompanhar o progresso dos grupos.
7	Prototipação de foguetes (aula no laboratório maker)	- Aula dedicada a construção, impressão e testagem. - Professor irá acompanhar o progresso dos grupos.
8	Apresentação dos foguetes (aula em ambiente aberto)	Apresentação dos foguetes montados e exposição com voo.

Fonte: Autor

Vamos a seguir descrever de forma mais detalhada o que será executado especificamente em cada aula para um maior entendimento de você professor que terá liberdade para adaptar e executar da forma que julgar melhor. Você pode utilizar a abordagem teórica elaborada neste material presente na seção **2 Contextualizando a Termoquímica e a Termodinâmica** ou outro de sua preferência.

7.1. Aula 1

Nesse primeiro encontro será apresentado os objetivos da sequência didática. Também será apresentado os conceitos básicos de calor, temperatura, sistema, vizinhança, lei zero, energia interna, trabalho e a primeira lei da termodinâmica. O material disponibilizado na seção 2 podem servir de guia nessa abordagem.

Passo 1: Após os conceitos básicos de calor, temperatura, sistemas e a lei zero, abordados pelo professor, ele pode resolver o exercício 1 (descrito na página 39).

Passo 2: Esse é o momento de abordar o conceito de energia interna para, em seguida, se abordar a primeira lei da termodinâmica. Incluímos um [vídeo](#)²⁸ de apoio sugerido ao professor mostrar aos estudantes. Após essa abordagem pode-se resolver o exercício 2 (descrito em página 40).

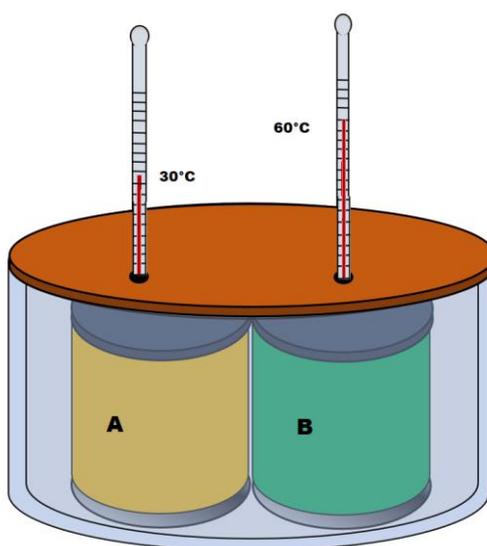
Passo 3: Recomendamos um questionário ao final da aula 1 para aferir como se deu o aprendizado dos conceitos. (descrito na página 42).

Exercício 1 - Aula 1

²⁸ disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=U_2AJc1mcas

Exercício proposto a ser resolvido pelo professor durante a aula 1:

- 1) Dois sistemas, A e B, estão em contato separados por paredes diatérmicas (que permitem troca de calor) e isolados da vizinhança conforme podemos observar inicialmente na figura abaixo. Responda:
- Em que sentido ocorrerá a transferência de calor? Por quê?
 - Observando as temperaturas iniciais mostradas na figura, sabendo, que a temperatura final de equilíbrio térmico é de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ e que a capacidade térmica do sistema A, $C_A = 5\text{ cal}/^{\circ}\text{C}$. Que quantidade de calor, Q_A , é cedida ou recebida pelo sistema A.
 - Qual a capacidade térmica, C_B , do sistema B?



Respostas:

1) **a.** O calor será transferido do sistema B para o A, pois ele flui do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

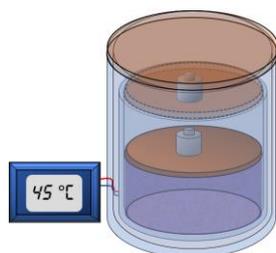
b. $Q_A = C_A \cdot (\Delta T_A) \rightarrow Q_A = 5\text{ cal. }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot (40 - 30)^{\circ}\text{C} = 50\text{ cal}$, o sistema **A**, irá receber 50 calorias do sistema **B**.

c. como temos um sistema isolado então $Q_A + Q_B = 0$, isso implica que, $Q_B = -Q_A$
e, portanto, $C_B \cdot (\Delta T_B) = -50\text{ cal} \rightarrow C_B \cdot (40\text{ }^{\circ}\text{C} - 60\text{ }^{\circ}\text{C}) = -50\text{ cal}$. Isolando C_B ,
temos: $C_B = \frac{-50\text{ cal}}{-20\text{ }^{\circ}\text{C}} = 2,5\text{ cal. }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Exercício 2 - Aula 1

Exercício proposto a ser resolvido pelo professor durante a aula 1:

- 2) Em um calorímetro com êmbolo móvel foi realizada a combustão de vapor de etanol com gás oxigênio ($C_2H_6O_{(v)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 3CO_{2(g)} + 3H_2O_{(v)}$). Calorímetro e sistema reacional estão isolados da vizinhança. A temperatura inicial era de 25 °C, O volume inicial era de 1 L e ao final o sistema expandiu à 2 L, a pressão exercida sobre o êmbolo é constante de 1 atm, a temperatura final 45 °C e a capacidade térmica do calorímetro, C , é 10 cal. °C⁻¹. Responda os itens abaixo



- Entre calorímetro e sistema reacional, em qual sentido se deu a realização do trabalho? justifique. Calcule o trabalho realizado.
- Entre calorímetro e sistema reacional, em qual sentido se deu a transferência de calor? Justifique. Calcule a quantidade de calor trocada
- Qual foi a variação da energia interna do sistema reacional ao final do processo.

Respostas:

- 2) **a.** O trabalho foi realizado do sistema reacional sobre o calorímetro. Pois trabalho tem sinal negativo quando $\Delta V > 0$, logo houve perda de energia, como trabalho, do sistema para o calorímetro. (o sistema gasta energia para levantar o êmbolo)

$$W = -P \cdot (V_f - V_i) = -1(2 - 1) = -1 \text{ atm} \cdot L = -101,3 \text{ J} = -24,2 \text{ cal}.$$

- b.** O calor foi transferido do sistema reacional para o calorímetro, pois o calorímetro aumentou de temperatura, caracterizando assim que recebeu calor da reação.

$$Q_{\text{reação}} + Q_{\text{calorímetro}} = 0 \rightarrow Q_{\text{reação}} = -Q_{\text{calorímetro}} \rightarrow Q_{\text{reação}} = -C \cdot \Delta T \therefore$$

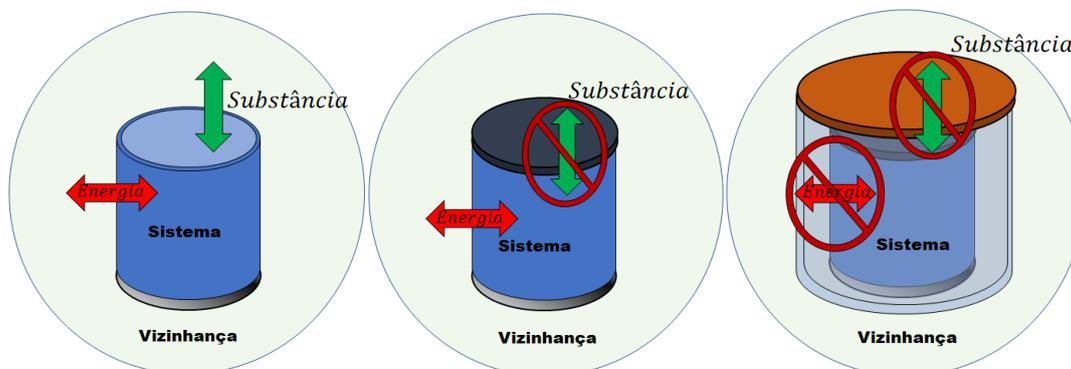
$$Q_{\text{reação}} = -10 \cdot (45 - 25) = -200 \text{ cal} = -837 \text{ J} = 0,837 \text{ KJ}$$

- c.** Utilizando a primeira lei da termodinâmica temos:

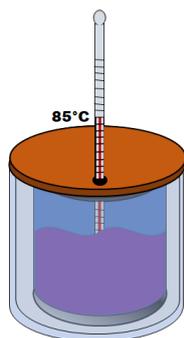
$$\Delta U = Q + W = -200 + (-24,2) = -224,2 \text{ cal} = 938 \text{ J}$$

Questionário aula 1:

- 1) Classifique os sistemas abaixo como **aberto**, **fechado** ou **isolado**. Justifique sua resposta.



- 2) Ao realizar uma reação química em um calorímetro podemos observar a situação de equilíbrio entre calorímetro e sistema reacional na figura abaixo. O calorímetro estava inicialmente a 25 °C. Considerando tratar-se de um sistema isolado, que a capacidade térmica do calorímetro é de 5 cal/°C. responda:



- Em que sentido se dá o fluxo de calor entre calorímetro e sistema reacional? Justifique.
- Calcule a quantidade de calor trocada entre calorímetro e sistema reacional.
- Qual a variação de energia interna do sistema reacional.

7.2. Aula 2

Nessa etapa e com os exercícios anteriores os estudantes já estarão aptos a serem apresentados a termoquímica e o conceito de entalpia. Entretanto para reforçar os conceitos de trabalho, calor, energia interna e a primeira lei da termodinâmica, recomendamos abordar uma aplicação desses conceitos no estudo de motores de carros.

Passo 1: Apresentar o [vídeo](#)²⁹ que mostra o funcionamento de um motor a combustão. Em seguida discutir sobre as formas de energia envolvidas em seu funcionamento, calor e trabalho, e qual é responsável pelo movimento do carro.

Passo 2: Em seguida discutir sobre as formas de energia envolvidas no funcionamento do motor de um carro, calor e trabalho, relacionando com a primeira lei da termodinâmica. Discutir que tipo de energia é responsável pelo movimento do carro.

Passo 3: Introduzir o conceito de entalpia.

Passo 4: Explicar os diferentes tipos de entalpia (padrão e estado padrão, formação, fusão, vaporização, combustão)

Como sugestão para os **passos 3 e 4** acima você pode usar a fundamentação teórica presente nesse trabalho na seção **Entendendo a Termodinâmica e a Termoquímica** ou outra de sua preferência.

7.3. Aula 3

Nesse encontro os estudantes já estarão familiarizados com os conceitos básicos da termoquímica e poderão ser apresentados as relações entre a termoquímica e a estequiometria. Recomendamos aqui discutir o poder calorífico dos combustíveis começando pela relação do etanol e da gasolina por estar presente no cotidiano dos estudantes pode despertar mais engajamento. A seção Entalpia de Combustão (na página 23) é a recomendada para abordagem desse tema.

7.4. Aula 4

Nessa etapa os alunos serão apresentados ao último tópico da termoquímica a lei de Hess e posteriormente se abordará a parte teórica do funcionamento de foguetes.

²⁹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=U11XuiJEODw>

Recomendamos para esse momento o [vídeo](#)³⁰ e que sejam apresentadas as regras de uso do espaço maker que eles farão uso no próximo encontro, ressaltando as idéias norteadoras de uma prática maker com proatividade e engajamento no fazer.

7.5. Aulas 5,6 e 7

Aqui os alunos serão incentivados a desenhar um foguete na plataforma Tinkercad, recomendamos o [vídeo](#)³¹ e também que você os oriente mostrando um pouco daquilo que aprendeu na seção **Desenho de Objetos** (página 27). Após o término do desenho nas aulas 6 e 7 (a depender do andamento dos alunos) recomendamos o [vídeo](#)³² sobre impressão 3D.

Eles deverão se possível iniciar o processo de impressão, ficando ao encargo do professor coletar as peças após a impressão finalizada, já que essa impressão pode levar algumas horas. As peças não devem ficar na bandeja de impressão durante uma semana, pois assim iria impedir o uso das impressoras por outros membros da comunidade institucional que fazem uso delas ao longo da semana.

Observação: Os parametros de desenho e modelagem dos foguetes vai depender da realidade de equipamentos que você possui em sua instituição. Em nosso espaço maker tinhamos impressoras Flashforge finder 3.0 cuja a altura máxima de impressão era de 20 cm. Definimos que para nossa realidade e tempo de uso disponível das impressoras que os foguetes teriam altura máxima de 15 cm. Não utilizamos software de fatiamento, pois essas impressoras em seu próprio firmware vinham com uma configuração padrão para fatiamento e impressão. Recomendamos aos alunos que as paredes dos foguetes tivessem no máximo 1 mm, para não acrescentar demasiada massa que os impedissem de voar. Quando ao orifício de ignição dos foguetes e escape de gases este deveria ter entre 1 e 2 mm. O plástico utilizado foi o PLA.

7.6. Aula 8

Nessa aula final os estudantes irão mostrar os foguetes que criaram e fazer testes de decolagem.

Aqui o professor deve inserir um pouco de combustível no orifício do foguete (etanol, gasolina e/ou outros) agitar para vaporização e mistura com o ar dentro do foguete. Escorrer o

³⁰ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=TWRUaOeNig>

³¹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6kH1CH8GWis>

³² Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6N-F4TZkMXI>

combustível que ainda permaneceu líquido, enxugando o orifício do foguete caso tenha ficado molhado com líquido e por fim usar um acendedor isqueiro ou similar para fazer a ignição. Esse é um momento de confraternização e ainda que alguns foguetes tenham falhado no propósito de decolar devem ser discutido sob o olhar da ciência e da termoquímica que pontos poderiam ser melhorados.

Referências bibliográficas

- ATKINS, Peter ; JONES, Loretta; LAVERMAN, Leroy. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução de Felix Nonnenmacher. 7^a. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018. 243-287 p.
- ATKINS, Peter; DE PAULA, Julio. **Físico-Química**. Tradução de Edilson Clemente da Silva; Márcio José Estillac de Mello Cardoso e Oswaldo Esteves Barcia. 7^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 32-91 p.
- AUTODESK. **Tinkercad**. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>. Acesso em: Jan 2023.
- BLIKSTEIN, Paulo. FabLabs: Of machines, makers and inventors, v. 4, n. 1, p. 1-21, 2013.
- BRASIL. **Ministérios da Educação: Editais**. [S.l.]. 2020.
- BROWN, Theodore L. *et al.* **Química**: a ciência central. Tradução de Eloiza Lopes; Tiago Jonas e Sonia Midori Yamamoto. 13^a. ed. São Paulo: Pearson, 2016.
- FONSECA, Martha R. M. D. **Química**. São Paulo: Ática, 2016.
- GELBER, Steven M. Do-It-Yourself: Constructing, Repairing and Maintaining Domestic Masculinity. **American Quarterly**, 49, n. 1, 1997. 66-112.
- GERSHENFELD, Neil. How to make almost anything: the digital fabrication revolution. **Foreign Affairs**, 91, n. 6, 2012. 43-57. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/41720933>.
- MAHAN, Bruce M.; MEYERS, Rolie J. **Química**: Um curso universitário. Tradução de Koiti Araki e Denise de Oliveira. São Paulo: Edgard Blucher, 1995. 197 p.
- MARTINS, Jorge Sá. 1 Vídeo (10 min). Aula 3.1 - Síntese: a 1ª lei da Termodinâmica e a Entalpia. **Publicado pelo canal TermodinâmicaUFF**, 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=dj8OZ7T1LDI&t=58s>. Acesso em: 11 nov 2021.
- MOORE, Walter J. **Físico-Química**. Tradução de Helena Li Chun; Ivo Jordan e Milton Caetano Ferroni. São Paulo: Blucher, v. 1, 2012. 34-65 p.
- OLIVEIRA, Mário J. D. **Termodinâmica**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.
- PINTO, Sofia L. U. *et al.* O MOVIMENTO MAKER: ENFOQUE NOS FABLABS BRASILEIROS. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, 3, Janeiro-Fevereiro 2018. 38-56.
- SAMPAIO DE CARVALHO, Márcio A. **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo otto utilizando diferentes tipos de combustíveis**. Dissertação (Dissertação em Engenharia Industrial) - UFBA. Salvador, p. 147. 2011.
- USBERCO, João; SALVADOR, Edgard. **Química, Volume**: físico-química. São Paulo: Saraiva, v. 2, 2014.

ZABALA, Antoni. **A Prática Educativa: Como Ensinar**. Tradução de Ernani F. da F Rosa. E-pub. ed. Porto Alegre: artmed, 2014.