



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**  
**POLO 36**

**Philippe Alves Silva**

**Sequência Didática explorando o ensino do futuro: sala de aula invertida,  
aprendizado baseado em problemas e pirâmide holográfica no ensino médio**

Maceió  
2025

**Philippe Alves Silva**

**Sequência Didática explorando o ensino do futuro:** sala de aula invertida, aprendizado baseado em problemas e pirâmide holográfica no ensino médio

Dissertação apresentada ao Polo 36 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica.

Orientador: Doutor Elton Nascimento  
Coorientador: Doutor Hugo Brandão

Maceió  
2025

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S586s     Silva, Philippe Alves.  
Sequência didática explorando o ensino do futuro : sala de aula invertida, aprendizado baseado em problemas e pirâmide holográfica no ensino médio / Philippe Alves Silva. – 2025.  
132 f. : il. color. + material adicional ( 16 f.)  
  
Orientador: Elton Nascimento.  
Co-orientador: Hugo Brandão.  
Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Física. Programa de Pós-Graduação em Física. Maceió, 2025.  
Inclui produto educacional de mesmo título.  
  
Bibliografia: f. 119-126.  
Anexos: f. 127-132.  
  
1. Física. 2. Ensino híbrido. 3. Aprendizado baseado em problemas. 4. Pirâmides holográficas. 5. Óptica. I. Título.

CDU:372.853



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE FÍSICA

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 36 - UFAL

Campus A. C. Simões - Av. Lourival de Melo Mota, S/Nº.

Tabuleiro dos Martins - 57.072-970 - Maceió - AL - Brasil

Tels.: Direção: (82) 3214-1645; Coordenação Graduação: (82) 3214.1421;

Coordenação Pós-Graduação: (82) 3214-1423 / 3214 – 1267

**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



**PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**“SEQUÊNCIA DIDÁTICA EXPLORANDO O ENSINO DO FUTURO: SALA DE  
AULA INVERTIDA, APRENDIZADO BASEADO EM PROBLEMAS E PIRÂMIDE  
HOLOGRÁFICA NO ENSINO MÉDIO”.**

**por**

***Philippe Alves Silva***

A Banca Examinadora composta pelos professores, Dr. Elton Malta Nascimento (Orientador), do Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Dr. Erico Raimundo Pereira de Novais, da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA) e Dr. Pedro Valentim dos Santos, do Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), consideram o candidato **aprovado**.

Maceió/AL, 31 de janeiro de 2025.

Documento assinado digitalmente



**ELTON MALTA NASCIMENTO**

Data: 07/04/2025 10:44:16-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Elton Malta Nascimento

Documento assinado digitalmente



**ERICO RAIMUNDO PEREIRA DE NOVAIS**

Data: 11/04/2025 09:56:04-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Erico Raimundo Pereira de Novais

Documento assinado digitalmente



**PEDRO VALENTIM DOS SANTOS**

Data: 12/04/2025 08:35:19-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Pedro Valentim dos Santos

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Maria José Alves, minha eterna inspiração. Professora por vocação e coração, seu exemplo de dedicação e amor pela sala de aula não apenas marcou a minha vida, mas também despertou em mim o desejo de seguir seus passos e me tornar educador. Ao meu pai, Miguel Ferreira, que sempre me ensinou a lutar o bom combate, com honestidade, hombridade e integridade. Sua sabedoria prática e sua educação “pé-no-chão” me mostraram o valor do trabalho, da retidão e da perseverança.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu irmão Fábio, que abriu caminhos e se tornou o primeiro da nossa família a alcançar a formação superior. Sua trajetória foi um marco e uma inspiração para todos nós, mostrando que sonhos podem ser realizados com esforço e determinação.

À minha irmã Rachel, que sempre esteve ao meu lado, em todos os momentos, me dando força e confiança. Nunca me deixou fraquejar e, com suas palavras e ações, me lembrou do quanto eu era capaz e do porquê não podia desistir. Sua presença foi fundamental nesta jornada.

Ao Professor Doutor Hugo Brandão, meu coorientador, amigo e ex-aluno da época de cursinho pré-vestibular, registro minha mais profunda gratidão. Sua orientação, incentivo constante e paciência foram fundamentais para que eu não desistisse nos momentos mais difíceis desta jornada. Hugo, se não fosse por você, este mestrado não teria sido concluído. Obrigado por acreditar em mim, mesmo quando eu duvidava de minhas próprias capacidades. Este trabalho é, também, fruto do seu apoio e dedicação.

Ao Professor Doutor Elton Malta, meu orientador, expresso minha imensa gratidão. Sua atuação como docente e orientador foi uma verdadeira inspiração ao longo deste percurso. Obrigado por compartilhar seu conhecimento com tanto comprometimento e por sempre me motivar a alcançar o meu melhor.

À minha turma do mestrado, com quem construí laços que transcendem o âmbito acadêmico. Cada troca, aprendizado e amizade formaram uma base de apoio e inspiração que levarei comigo para sempre. Obrigado por tornarem essa caminhada mais leve e significativa.

Ao Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas, local que me fez entender o verdadeiro sentido do que é ser professor.

À Malba Gomes, minha ex-esposa e mãe dos meus três filhos, registro minha sincera gratidão e reconhecimento. Sua parceria foi fundamental em tantas etapas

desta jornada, e sua dedicação aos nossos filhos, Sophia, Valentina e Philippinho, permitiu que eu seguisse adiante em momentos desafiadores. Seu apoio e cuidado criaram um ambiente de amor e segurança para eles, e, por isso, cada conquista minha também carrega a sua presença. Obrigado por ser, ao longo do caminho, uma peça essencial no equilíbrio de nossas vidas e na construção de um futuro melhor para nossos filhos.

Por fim, acima de tudo, agradeço aos meus filhos, Sophia, Valentina e Philippinho, que sempre foram e sempre serão a razão de tudo. Cada esforço, cada desafio e cada conquista tem vocês como motivação. Que este trabalho seja um reflexo do amor imenso que sinto por vocês e do compromisso que tenho com o nosso futuro. Quero, neste trabalho, declarar-me aos meus filhos: o amor que tenho por vocês foi o combustível que me manteve em movimento nessa jornada; foram minha maior motivação e fonte de inspiração. Filhas e filho, essa conquista é para vocês e por vocês!

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

## RESUMO

O presente trabalho objetiva desenvolver um produto pedagógico para o ensino de Física no Ensino Médio, configurado em uma Sequência Didática baseada no modelo de Ensino Híbrido, especificamente no formato de Sala de Aula Invertida, com aplicação do Aprendizado Baseado em Problemas (PBL) e utilizando como recurso pedagógico uma Pirâmide Holográfica. A pesquisa justifica-se pela necessidade de incorporar metodologias ativas que promovam o protagonismo discente e ampliem a compreensão de conceitos físicos por meio de abordagens inovadoras. Fundamenta-se na observação de que métodos tradicionais frequentemente não engajam os alunos, resultando em baixos índices de aprendizado efetivo. A metodologia adotada envolveu a aplicação de uma sequência didática estruturada, permitindo aos estudantes acesso prévio a conteúdos teóricos, enquanto o tempo em sala de aula foi dedicado à resolução de problemas práticos e experimentais. A construção e o uso da pirâmide holográfica ilustraram fenômenos ópticos, consolidando o aprendizado por meio de uma experiência sensorial imersiva. Os resultados indicaram um aumento significativo no interesse e na motivação dos alunos para aprender Física, bem como uma compreensão mais profunda dos conceitos. As atividades práticas contribuíram para o desenvolvimento de habilidades críticas, como análise de fenômenos e resolução de problemas. Observou-se ainda uma melhora no desempenho acadêmico, sugerindo que a sequência didática facilitou a retenção dos conteúdos e estimulou a autonomia e o trabalho colaborativo. Contudo, desafios como o tempo de adaptação e dificuldades operacionais reforçam a necessidade de ajustes futuros na implementação dessa abordagem.

**Palavras-chave:** Física; Ensino Híbrido; Aprendizado Baseado em Problemas; Pirâmide Holográfica; Óptica.

## ABSTRACT

This study aims to develop a pedagogical product for teaching Physics in high school, configured as a Didactic Sequence based on the Hybrid Teaching model, specifically in the Flipped Classroom format, and applying Problem-Based Learning (PBL), using a Holographic Pyramid as a pedagogical resource. The research is justified by the need to incorporate active methodologies that promote student protagonism and broaden the understanding of Physics concepts through innovative approaches. It is based on the observation that traditional methods often fail to fully engage students, resulting in low rates of effective learning. The adopted methodology involved the implementation of a structured didactic sequence, allowing students to access theoretical content in advance while dedicating classroom time to solving practical and experimental problems. The construction and use of the holographic pyramid illustrated optical phenomena, consolidating learning through an immersive sensory experience. The results indicated a significant increase in students' interest and motivation to learn Physics, as well as a deeper understanding of the concepts. Practical activities contributed to the development of critical skills, such as phenomena analysis and problem-solving. An improvement in academic performance was also observed, suggesting that the didactic sequence facilitated content retention and encouraged autonomy and collaborative work. However, challenges such as adaptation time and operational difficulties underscore the need for future adjustments in the implementation of this approach.

**Keywords:** Physics; Hybrid Learning; Problem-Based Learning; Holographic Pyramid; Optics.

## **SUMÁRIO**

|                                                                                                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                                 | <b>10</b> |
| <b>2. CONCEITOS DE FÍSICA E SUAS APLICAÇÕES NA PIRÂMIDE<br/>“HOLOGRÁFICA” .....</b>                                                        | <b>18</b> |
| 1. A Teoria de Fermat.....                                                                                                                 | 30        |
| 2. Diferença entre Holografia e Holograma .....                                                                                            | 34        |
| 3. Holograma: sua história e suas aplicações.....                                                                                          | 40        |
| 4. Pirâmides “Holográficas” .....                                                                                                          | 43        |
| 5. O potencial didático das Pirâmides “Holográficas” .....                                                                                 | 45        |
| <b>3. SEQUÊNCIA DIDÁTICA: MODELO EDUCACIONAL DE ENSINO HÍBRIDO A<br/>PARTIR DO FORMATO DE SALA DE AULA INVERTIDA APLICANDO O PBL .....</b> | <b>49</b> |
| 1. O que é o modelo de Ensino Híbrido .....                                                                                                | 49        |
| 2. Sala de Aula Invertida aplicando o PBL.....                                                                                             | 59        |
| <b>4. EXPERIMENTO COM SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA AO ENSINO MÉDIO</b>                                                                      | <b>74</b> |
| 1. Considerações acerca de experimentos didáticos e nossa<br>Sequência Didática .....                                                      | 74        |
| 2. Metodologia e Aplicação da Sequência Didática junto aos alunos<br>do Ensino Médio.....                                                  | 88        |
| 2.1. Metodologia.....                                                                                                                      | 88        |
| 2.2. Aplicação da Sequência Didática junto aos alunos do Ensino Médio                                                                      | 94        |
| 2.3. Sobre o experimento e aplicação do PBL .....                                                                                          | 97        |
| 2.4. Das atividades em aula presencial .....                                                                                               | 99        |

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| 2.5. Resultados Obtidos.....                   | 102 |
| 2.6. Desafios e Dificuldades encontradas ..... | 107 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                  | 112 |
| 6. REFERÊNCIAS.....                            | 118 |
| 7. ANEXOS .....                                | 126 |

## 1. INTRODUÇÃO

A Física, uma das ciências mais fascinantes, dedica-se ao estudo e compreensão dos fenômenos naturais, proporcionando o entendimento do mundo ao nosso redor. De acordo com as diretrizes do PCN+ (Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio, 1998), a Física deve ser ensinada aos estudantes do ensino médio de maneira que seus conhecimentos sejam aplicáveis ao cotidiano. Essa disciplina possui uma amplitude impressionante, abrangendo investigações que vão desde a estrutura elementar da matéria até a origem e evolução do Universo.

A relevância da Física no currículo escolar transcende o mero conhecimento teórico, permitindo que os estudantes desenvolvam habilidades essenciais para a compreensão e solução de problemas do mundo real. A disciplina de Física, no Ensino Médio da Educação Básica no Brasil, oferece um alicerce fundamental para outras disciplinas científicas e tecnológicas, influenciando áreas como a engenharia, a medicina e a informática. Compreender os princípios físicos é essencial para enfrentar os desafios contemporâneos, como a crise energética, as mudanças climáticas e as inovações tecnológicas. Não para por aí, muito pelo contrário, pois, dentre todas as inúmeras possibilidades a serem pontuadas acerca do ensino de Física, destacamos que ele estimula o pensamento crítico e a capacidade analítica dos estudantes, habilidades indispensáveis para a formação de cidadãos conscientes e preparados para participar ativamente na sociedade.

Nesse sentido, acentuamos que a aplicação da Física no cotidiano é evidente em diversas situações, desde simples funcionamento de aparelhos eletrônicos até a complexidade dos sistemas de transporte e comunicação. No entanto, para que os alunos possam realmente assimilar e valorizar esses conceitos, é fundamental que o ensino seja contextualizado e relacionado a situações práticas, tal como se defenderá a seguir. Neste sentido, faz-se urgente necessidade de metodologias de ensino que promovam a aprendizagem ativa, em que os estudantes não apenas recebem informações, e sim, são incentivados a questionar, investigar, e aplicar os conhecimentos adquiridos. Por isso, neste trabalho, abordaremos e advogaremos

pela utilização de recursos tecnológicos como ferramentas de ensino-aprendizado e uso de Metodologias Ativas e Aprendizado.

Assim, faz-se questão de apontar a necessidade de integração de Metodologias Ativas de Aprendizagem, como a interação entre a metodologia de Sala de Aula Invertida e a metodologia de Aprendizado Baseado em Problemas (PBL), tal como apresentam-se e defendem-se a seguir, a partir de nossa proposta de Sequência Didática, que se demonstra bastante eficaz. Trata-se de abordagens metodológicas, didática-pedagógicas, que permitem com que alunos assumam um papel mais ativo em seu processo de aprendizagem, desenvolvendo a autonomia e a capacidade de resolução de problemas de maneira colaborativa. A Sala de Aula Invertida, por exemplo, como demonstraremos, oferece a oportunidade de os estudantes estudarem os conceitos fundamentais de forma independente, utilizando recursos tecnológicos e materiais didáticos previamente disponibilizados pelo professor. Isso libera o tempo em sala de aula para atividades mais interativas e práticas, como discussões, experimentos, e resolução de problemas complexos.

Como demonstraremos e referenciaremos ao decorrer desta pesquisa, destacamos que quando aplicadas em conjunto com o PBL, essas metodologias potencializam o aprendizado ao colocar os estudantes diante de desafios reais, que exigem a aplicação dos conceitos físicos estudados de forma integrada e contextualizada. A abordagem baseada em problemas promove a reflexão e a construção ativa do conhecimento, permitindo que os alunos compreendam a relevância dos princípios físicos em situações do cotidiano e no desenvolvimento tecnológico (GOMES; BRITO; VARELA, 2016).

No presente produto educacional, propõe-se o uso de ferramentas didáticas inovadoras e recursos tecnológicos como elementos fundamentais para o desenvolvimento educacional, com destaque para a Pirâmide “Holográfica”. Este recurso visual é capaz de simular a projeção de imagens tridimensionais, proporcionando um ambiente interativo para a aprendizagem de conceitos “complexos” em Física, no tocante a estudantes do Ensino Médio, como as leis da reflexão, a formação de imagens e a simetria óptica.

A Pirâmide “Holográfica”, conforme veremos mais profundamente a seguir, consiste em uma estrutura prismática de base quadrada, formada por faces inclinadas de material transparente, como lâminas de acetato ou vidro. Essas faces atuam como superfícies refletoras, permitindo que a luz projetada de um dispositivo eletrônico, como um smartphone ou tablet, seja refletida internamente de maneira a criar a ilusão de um objeto tridimensional aparentemente flutuando em seu interior. Embora frequentemente chamada de “holográfica”, esta tecnologia não projeta hologramas reais, mas sim imagens virtuais formadas pela reflexão da luz, em conformidade com os princípios da óptica geométrica.

### **Conceitos físicos fundamentais:**

1. **Reflexão:** A luz que incide nas faces da pirâmide é refletida de acordo com a Lei da Reflexão, segundo a qual o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão em relação à normal à superfície. Esse fenômeno é crucial para a percepção de uma imagem tridimensional pelo observador.
2. **Formação de imagens virtuais:** As imagens produzidas são virtuais, pois não resultam de raios luminosos que efetivamente convergem, mas da interpretação feita pelo observador, que percebe os raios refletidos como provenientes de um ponto específico no espaço dentro da pirâmide.
3. **Simetria óptica:** A disposição geométrica da pirâmide assegura que as imagens sejam projetadas uniformemente em várias direções, proporcionando ao observador a sensação de tridimensionalidade.

A utilização pedagógica da Pirâmide “Holográfica” permite aos estudantes uma experiência prática e visual dos fenômenos ópticos. Em atividades didáticas, os alunos podem explorar interativamente conceitos como reflexão e formação de imagens, compreendendo de forma concreta como as interações da luz com diferentes superfícies resultam em efeitos visuais específicos. Tal abordagem desperta o interesse dos estudantes, ao mesmo tempo em que fortalece a retenção e a aplicação do conhecimento.

Ademais, conforme nossa pesquisa sugere, a qual demonstraremos nas páginas a seguir, a combinação do uso desse recurso (Pirâmide “Holográfica”) com

metodologias ativas, como a Sala de Aula Invertida e o Aprendizado Baseado em Problemas (Problem-Based Learning – PBL), pode representar um avanço significativo para o ensino de Física no contexto educacional contemporâneo. Essas estratégias metodológicas tornam o aprendizado mais dinâmico, contextualizado e envolvente, além de preparar os estudantes para desafios acadêmicos e profissionais. Dessa forma, o uso da Pirâmide “Holográfica” em conjunto com abordagens pedagógicas inovadoras possibilita a construção de um ensino mais interativo, capaz de formar cidadãos críticos e preparados para compreender e interagir com os fenômenos do mundo físico e tecnológico (ZABALA, 1998).

Com base nesses fundamentos, pode-se concluir que, por meio de conceitos simples da óptica e princípios fundamentais da Física, é possível explicar fenômenos naturais, compreender o funcionamento de dispositivos tecnológicos e promover uma aprendizagem mais efetiva e significativa, contribuindo para a construção de um ambiente educacional mais integrado e acessível.

Precisamos também evidenciar que, em nossa pesquisa, há a preocupação da educação como formação de cidadãos, os quais saibam interagir com o mundo a sua volta, usando e criando ferramentas necessárias para executar as mais diversas tarefas nas atividades do dia a dia. Estamos certos de que para este caminho a Física pode e deve apresentar, de uma forma menos matematizada, nas turmas de Ensino Médio, os conceitos pretendidos, criando assim situações que os estudantes possam futuramente vir a se confrontar. Enfatizamos, para realçar nossa compreensão do ensino de Física a ideia de aprendizado da criança, segundo Tolstoi, a qual não pode ser feita através de explicações artificiais, por memorização compulsiva e por repetição. Segundo Tolstoi,

Temos que admitir que tentamos várias vezes [...] fazer isso, e que sempre nos deparamos com uma enorme aversão por parte das crianças, o que mostra que estávamos no caminho errado. Esses experimentos me deixaram com a certeza de que é impossível explicar significado de uma palavra [...] Quando se explica qualquer palavra, a palavra "impressão", por exemplo, coloca-se em seu lugar outra palavra igualmente incompreensível, ou toda uma série de palavras, sendo a conexão entre elas tão ininteligível quanto a própria palavra. (TOLSTOI apud VIGOTSKY, 1989, 122).

O que na verdade a criança precisa é interagir com os novos conceitos aprendidos:

Quando ela ouve ou lê uma palavra desconhecida numa frase, de resto compreensível, e a lê novamente em outra frase, começa a ter uma ideia vaga do novo conceito: mais cedo ou mais tarde ela... sentirá a necessidade de usar esta palavra - e uma vez que a tenha usado, a palavra e o conceito lhe pertencem... Mas transmitir deliberadamente novos conceitos ao aluno... é, estou convencido, tão impossível e inútil quanto ensinar uma criança a andar apenas com as leis do equilíbrio (VIGOTSKY, 1989, 131).

Então, segundo Tolstoi, o uso de um novo conhecimento, seja ele uma palavra, uma ferramenta, uma ideia, levará ao domínio deste novo conceito. Usando e desusando, a criança aprende quais as aplicabilidades e poderá assim adaptá-lo ao seu cotidiano.

É o que Vygotsky (1989) defendia em seus trabalhos sobre o desenvolvimento do indivíduo, nos quais releva a importância das contribuições da cultura, da interação social e a dimensão histórica do desenvolvimento mental. O estudante apenas irá absorver algum conceito a partir do uso prático do estudo, procurando por si só as limitações da ideia e observando os fenômenos relacionados.

Utilizamos tais referências, como Tolstoi e Vygotsky, pois, compreendemos que com avanço das tecnologias educacionais e das Metodologias Ativas há transformações profundas que muitos consideram ser o ensino do futuro. Dentro deste contexto, a aplicação das metodologias de Sala de Aula Invertida e Aprendizado Baseado em Problemas (PBL) tem se destacado por sua capacidade de promover um aprendizado mais dinâmico e centrado no aluno. Ao integrar essas abordagens com o uso de ferramentas didáticas, como a Pirâmide Holográfica, o ensino de conceitos complexos de Física pode se tornar uma experiência mais envolvente e compreensível para os alunos do Ensino Médio.

Nesta direção, a Pirâmide Holográfica, por exemplo, embora não seja um verdadeiro holograma, oferece uma maneira fascinante de explorar conceitos de Física, como a reflexão e a formação de imagens. A distinção entre holografia e holograma é fundamental para entender o potencial didático desse recurso. Enquanto a holografia envolve a captura de imagens tridimensionais utilizando interferência e difração de luz, a pirâmide “holográfica” cria uma ilusão de profundidade ao projetar imagens em uma superfície transparente. Apesar dessa

diferença, a pirâmide “holográfica” tem sido cada vez mais utilizada em ambientes educacionais, especialmente no ensino de Física e Matemática, como recurso pedagógico para facilitar a compreensão de conceitos abstratos, como as leis da reflexão e refração. Por exemplo, Schivani, Souza e Pereira (2018) destacam a aplicação desse recurso em atividades escolares voltadas para o ensino básico, utilizando materiais acessíveis como lâminas de transparência e displays de smartphones. Medeiros (2008) também reforça o potencial das ilusões ópticas, como as proporcionadas pelas pirâmides “holográficas”, para despertar a curiosidade dos estudantes e auxiliar no desenvolvimento de habilidades científicas. Além disso, a utilização desse dispositivo é descrita como um meio para integrar teoria e prática no ensino, promovendo a experimentação em sala de aula.

Historicamente, o desenvolvimento de hologramas remonta ao século XX, com avanços significativos na tecnologia de laser que permitiram a criação de imagens tridimensionais reais. Desde então, hologramas têm sido utilizados em diversas aplicações, desde segurança e autenticação até entretenimento e publicidade (SCHIVANI; SOUZA; PEREIRA, 2018). No entanto, no contexto educacional, as pirâmides “holográficas” têm se destacado por seu potencial em facilitar a compreensão de fenômenos ópticos e outros conceitos de Física. Pois, dentro do modelo educacional de Ensino Híbrido, a partir da Sala de Aula Invertida, associado ao PBL, demonstraremos uma Sequência Didática que se apresentou enquanto uma poderosa estratégia e ferramenta pedagógica para promover um aprendizado mais ativo da disciplina de Física em turmas do Ensino Médio.

Este trabalho irá explorar o ensino da Física na prática, utilizando poucos recursos, para falar de um dos fenômenos a ser abordado nas salas de aulas a partir de metodologias ativas, tendo em vista uma abordagem alternativa, e mostrando uma possibilidade de instigar o aluno a fazer suas próprias descobertas a partir de atividades que o convidem a buscar respostas e provoquem sua curiosidade. Iremos utilizar alguns recursos para guiar o estudante em seu aprendizado; mostraremos alguns conceitos da Física Contemporânea, não apenas com fórmulas e ideias abstratas, mas tentando focar principalmente, na utilização da prática dos conceitos através da experimentação. Assim, por exemplo, exploraremos os conceitos físicos necessários para construir um holograma, isto é, uma imagem em um plano

bidimensional que é projetada e observada em três dimensões, visto que, as holografias possuem uma característica única: cada parte delas possui a informação do todo. Assim, um pequeno pedaço de uma holografia terá informações de toda a imagem da mesma holografia completa.

Este produto educacional que iremos apresentar, sugere resultados bastante satisfatórios e promissores. Escrevemos isso independentemente de os hologramas serem imagens instigantes e intrigantes, de profunda beleza, que nos leva a sensação futurista da ciência; são elementos constantes nos filmes e séries de ficção científica, além de ser uma ferramenta muito importante para vários ramos da indústria e da ciência e assim ser mais atrativo para os alunos, podendo exercer certo fascínio nos estudantes. A técnica de holografia, por exemplo, está crescendo, diversificando-se e ganhando importância e utilização no dia a dia dos indivíduos. Seu estudo está se aprofundando criando perspectivas fantásticas na área do entretenimento e da arte, dentre outras áreas como discorreremos brevemente ao longo deste texto (SCHIVANI; SOUZA; PEREIRA, 2018).

Salientamos que a educação, em constante evolução, busca cada vez mais métodos inovadores para tornar o aprendizado mais eficaz e engajador. Neste contexto, a presente pesquisa propõe uma abordagem pedagógica inovadora que combina elementos da Sala de Aula Invertida e da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), utilizando a Pirâmide Holográfica como ferramenta visual para o ensino de Física. Nesta linha, a pesquisa que se segue se debruça, também, sobre a compreensão de como a tecnologia, mais especificamente a Pirâmide Holográfica, pode ser utilizada para tornar os conceitos de Física mais tangíveis e interessantes para os estudantes, já que holografia, com sua capacidade de criar imagens tridimensionais, oferece um potencial imenso para a visualização de fenômenos físicos complexos, como a propagação da luz e a formação de imagens.

A Sequência Didática proposta neste trabalho, fundamentada no modelo híbrido de ensino, combina a autonomia proporcionada pela Sala de Aula Invertida com a resolução de problemas desafiadores inerente à PBL. Ao inverter o modelo tradicional de ensino, os alunos têm a oportunidade de estudar o conteúdo prévio em casa, enquanto as aulas presenciais são dedicadas à resolução de problemas e

à discussão de conceitos. Assim, nossa pesquisa, através de um experimento prático com alunos do Ensino Médio, busca investigar a eficácia dessa abordagem inovadora, analisando o impacto na aprendizagem, o engajamento dos estudantes e a superação de desafios comuns ao ensino de Física. Os resultados obtidos permitiram avaliarmos o potencial da Pirâmide “Holográfica” como ferramenta pedagógica e a contribuição de nossa Sequência Didática, proposta nesse trabalho e aplicada experimentalmente em turmas do Ensino Médio, para a melhoria da qualidade do ensino, reforçamos, especialmente na disciplina de Física.

Destarte, esta pesquisa se justifica pela necessidade de inovar na busca por novas metodologias, como por exemplo da sequência didática que estamos a apresentar, que tornem o ensino de Física mais atrativo e eficaz; por utilizar a tecnologia para tornar os conceitos abstratos mais concretos e tangíveis, assim promovendo o aprendizado ativo, o qual estimula a autonomia dos alunos e a resolução de problemas desafiadores; bem como, em estar atenta em verificar o impacto da Sequência Didática que estamos a propor, no decorrer deste trabalho, na aprendizagem e no engajamento dos estudantes.

Assim sendo, discorreremos, nesta pesquisa, acerca do Ensino Híbrido, que combina o aprendizado virtual com atividades presenciais, permitindo que os alunos acessem o conteúdo teórico em seu próprio ritmo, preparando-os para discussões e atividades práticas em sala de aula. Apresentaremos, também, de forma mais rigorosa, sobre a metodologia de Aprendizado Baseado em Problemas, enfatizando que quando se aplica o PBL nas práticas pedagógicas, os alunos são desafiados a resolverem problemas reais, aplicando os conceitos aprendidos de maneira crítica e colaborativa. Defenderemos que essa combinação, Sala de Aula Invertida aplicando o PBL, cria um ambiente de aprendizado que não só transmite conhecimento, mas também desenvolve habilidades essenciais para os desafios de nosso tempo presente, tais como, por exemplo, o pensamento crítico, a resolução de problemas e a capacidade de trabalhar em equipe.

As considerações iniciais sobre os conceitos de Física a serem estudados, seguidas pela descrição detalhada das metodologias ativas educacionais e, posteriormente, a aplicação da Sequência Didática junto aos alunos, formam a base

para analisarmos os resultados obtidos, bem como os desafios e dificuldades encontrados durante sua implementação. Nesta direção, a conclusão do experimento oferece *insights* valiosos sobre o potencial dessas Metodologias Ativas de Aprendizagem e ferramentas inovadoras para transformar a sala de aula em um ambiente mais dinâmico, interativo e conectado com as demandas contemporâneas da educação, aberto a interação entre o fazer educação e sua interação com os diversos recursos tecnológicos a serem explorados.

Nossas descobertas indicam que, embora haja desafios a serem superados, a integração de tecnologias como a Pirâmide Holográfica com metodologias ativas como a Sala de Aula Invertida e o PBL pode representar um passo significativo na construção de um ensino de Física mais envolvente e eficaz.

## **2. CONCEITOS DE FÍSICA E SUAS APLICAÇÕES NA PIRÂMIDE “HOLOGRÁFICA”.**

O estudo da óptica paulatinamente foi se destacando em meados do fim do século XVII com Christiaan Huygen (1960), com sua publicação do "*Traité de la lumière*" (Tratado sobre a luz). Neste seu trabalho Huygens apresentou sua teoria acerca da ondulatória da luz, demonstrou o comportamento da luz como uma onda, contendo assim suas propriedades. Estamos falando do marco inicial do estudo da óptica, dessa busca por compreender os fenômenos físicos decorrentes da luz, tratou-se de um marco histórico, uma vez que, antes dele todo o estudo sobre a luz era considerando uma teoria corpuscular (KRAPAS, 2011). Ainda que, Isaac Newton, em 1704, tenha publicado uma de suas mais importantes obras e, sem nenhuma dúvida, a sua mais relevante obra sobre óptica, "*Opticks*", que se tratou de uma pesquisa acerca da luz e suas propriedades, na qual defende algumas de suas teorias de destaque, como por exemplo a união de uma teoria corpuscular e a reflexão, refração e a dispersão da luz, sendo, de fato, a primeira pesquisa que tentava explicar alguns fenômenos ópticos usando as teorias corpusculares e ondulatórias combinadas; destacaremos a pesquisa de Christiaan Huygen como marco inicial da óptica enquanto área da física. Segundo Krapas,

Huygens (1629-1695) é conhecido por dar conta da refração segundo um modelo ondulatório. Os livros didáticos perpetuam a homenagem que um dia lhe foi feita, atribuindo seu nome a um princípio – Princípio de Huygens. Em sua obra máxima, tratado sobre a Luz, é possível ver sua inventividade na defesa de um modelo ondulatório para a luz em oposição ao alternativo modelo corpuscular. Colocando esse modelo em funcionamento, ele dá explicações para diversas propriedades da luz conhecidas em sua época (KRAPAS, 2011).

Precisamos também destacar as pesquisas realizadas por Thomas Young e Augustin Fresnel acerca dos efeitos de interferência e difração, pois foi a partir de suas teorias que a comunidade científica começou a aceitar a teoria ondulatória da luz, a qual já passava a explicar diversos fenômenos físicos observáveis durante aquele período histórico (SILVA, 2009). Foi a partir daí que a luz passou a ser compreendida como um fenômeno puramente ondulatório. Contudo, em 1861, o físico e matemático James Clerk Maxwell apresentou uma teoria detalhada da luz como um efeito eletromagnético, após formular as equações básicas do campo eletromagnético. Ele revolucionou ao explicar como se dá a propagação da luz, em virtude das variações dos campos elétricos e magnéticos (SILVA, 2007).

Essa teoria de Maxwell viria a ser mais tarde confirmada por Heinrich Rudolf Hertz, em 1888, em suas experiências acerca dos campos eletromagnéticos. Ele demonstrou que a velocidade de propagação da luz no vácuo é equivalente à velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo, confirmando que ambos os fenômenos são regidos pelas mesmas propriedades fundamentais. Essa descoberta foi crucial para a comprovação de que a luz é uma onda eletromagnética, apresentando comportamentos como refração, reflexão, interferência e difração, características observadas na interação da luz com diferentes meios e superfícies (MANGILI, 2011). Conforme ilustra a imagem a seguir em relação a refração:

Figura 1 – descrição geométrica da lei da refração



Fonte: Mundo Educação (2024).

Hertz observa, por exemplo, um empenho em se procurar um modo consistente de atacar essas concepções físicas, começando a partir da teoria de Maxwell,

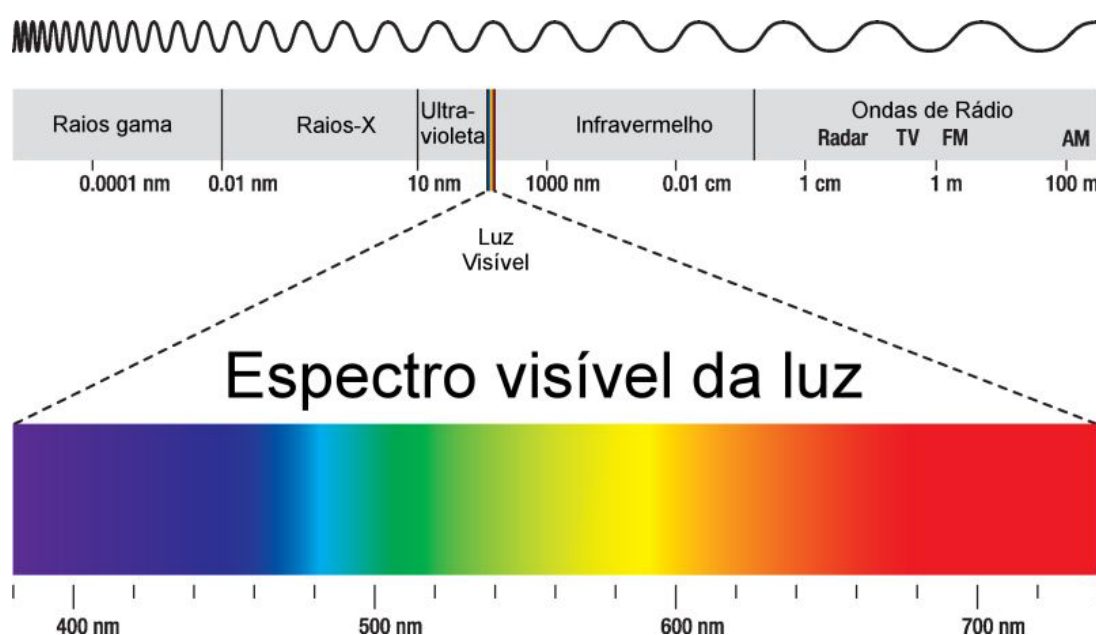
Num primeiro momento, era importante delinear um tratamento teórico mais claro para esses experimentos. Nas pesquisas a que eu me referi até esse ponto, os experimentos eram interpretados a partir do ponto de vista que eu adotei através dos estudos dos artigos de Von Helmholtz. Nesses artigos, Von Helmholtz distingue duas formas de forças elétricas – a eletromagnética e a eletrostática – a qual, até que a experiência prove o contrário, duas velocidades eram atribuídas. Uma interpretação dos experimentos a partir desse ponto de vista certamente pode não ser incorreta, mas talvez seja desnecessariamente complicada. Num caso especial e limítrofe, a teoria de Helmholtz se torna consideravelmente simplificada, e suas equações, nesse caso, se tornam as mesmas da teoria de Maxwell; só uma força se mantém, e se propaga com a velocidade da luz (HERTZ, 1893).

No entanto, em suas variadas experiências e profunda pesquisa, Hertz se deparou com o efeito fotoelétrico, fenômeno físico que só viria a ser compreendido e definitivamente elucidado em 1905 por Albert Einstein, o qual utilizou a teoria corpuscular, concluindo que a luz conteria partículas chamadas de fótons. Isso foi de extrema importância, uma vez que, foi somente após estas conclusões de Einstein que a comunidade científica quase que em sua totalidade se rendeu em relação a

teoria da dualidade onda-partícula da luz, na qual a luz se comporta em determinadas situações como uma onda e em outras como partícula.

Depois deste apanhado histórico, podemos definir algumas propriedades que um raio de luz possui: Comprimento de onda ( $\lambda$ ); Frequência ( $\nu$ ); Período ( $P$ ); Intensidade ( $I$ ); Direção e sentido de propagação. Destas propriedades apresentadas de um raio de luz, nos interessa muito, para compreender o que iremos apresentar, é a frequência do raio de luz ou o seu comprimento de onda que define o espectro do raio, isto é, a sua cor. Já que uma fonte luminosa é todo corpo que emite luz, e de acordo que as propriedades dos feixes de luz são emitidas, as fontes podem ser monocromáticas, todos os raios luminosos possuem a mesma frequência, ou policromáticas, quando os raios constituintes não possuem as mesmas frequências (GOMES, 2010). Segue imagem para ilustrar o espectro de luz:

Figura 2 - Espectro eletromagnético



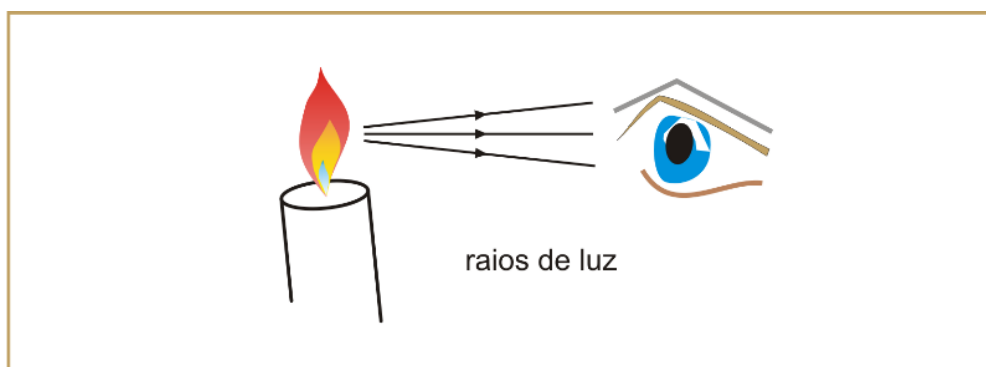
Fonte: Peter Hermes Furian / Shutterstock.com.

Quanto discorrermos sobre óptica, estamos a nos referir a área da física que estuda a propagação e o comportamento da luz, só que esta área tão importante da física é comumente dividida em duas subáreas, a saber: a óptica geométrica e a óptica física. Uma compreende a luz como um raio; e a outra entende a luz como

uma onda, determinando esses fenômenos físicos como: difração, interferência e polarização, o quais, por exemplo, não podem ser explicados se compreendermos a luz somente luz enquanto um raio. Portanto, uma vez que a óptica é o estudo dos fenômenos luminosos, faz-se extremamente necessário definirmos e apresentarmos algumas das propriedades da luz. Assim, nesta nossa pesquisa compreendemos raio luminoso como linhas orientadas que representam, graficamente, a direção e sentido da propagação da luz, portanto, conceituaremos que o conjunto de raios de luz é o mesmo que feixe de luz ou feixe luminoso.

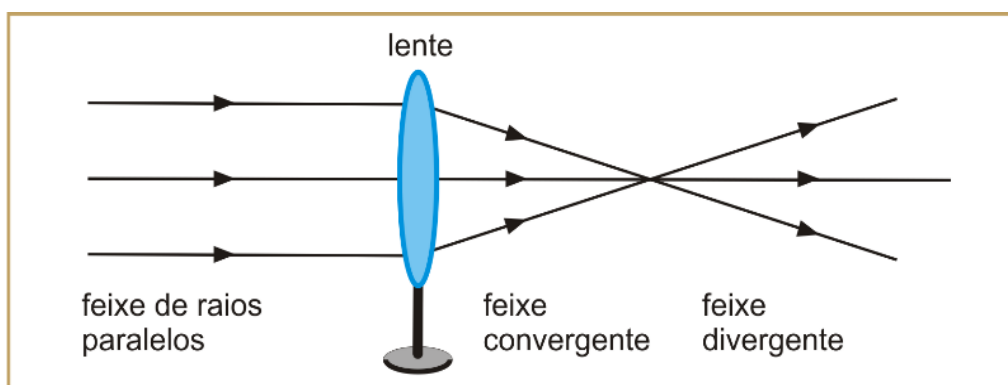
Assim, neste capítulo, abordaremos os conceitos referentes à óptica física de forma breve, só para analogia em relação a holografia e, então, discutiremos hologramas por meio da aplicação da Pirâmide “Holográfica”, que é parte da óptica geométrica.

Figura 3 – feixe de luz divergente



Fonte: Os Fundamentos da Física (2024).

Figura 4 – Feixe de luz convergente



Fonte: Os Fundamentos da Física (2024).

Antes de prosseguirmos, precisamos destacar que utilizaremos aspas no termo “Holográfica”, visto que, a partir de nossas pesquisas, especialmente em relação ao texto: “Pirâmide ‘holográfica’: erros conceituais e potencial didático” de Schivani, Souza e Pereira (2018), consideramos equivocado a forma pela qual, parte dos pesquisadores, referem-se a Pirâmide em questão como sendo Holográfica, uma vez que se trata de Hogramas e não de holografias. Contudo, também precisamos registrar que não tivemos fôlego nesta pesquisa para expor com profundidade essa questão e as incongruências em utilizar o termo Pirâmide Holográfica, sem que o termo holográfico esteja entre aspas. Assim, reafirma-se: nesta pesquisa usaremos o termo Pirâmide “Holográfica”. Mais adiante, fizemos questão de diferenciar holografia de holograma, nesse sentido, retomamos brevemente este debate e ratificamos o que estamos a defender.

Retomando, tal pirâmide é parte essencial para discorrermos, posteriormente, acerca de nossa proposta de sequência didática através da metodologia de Sala de Aula Invertida e aplicando o PBL (Problem-Based Learning). Logo, destacaremos somente a óptica física como interferência e difração de ondas (por uma e múltiplas fendas). Bem como, apresentaremos alguns relevantes dispositivos ópticos que possibilitam inúmeras aplicações tecnológicas. Pois, é importante destacarmos que um dos mais preponderantes dentre todos os objetivos da física é elucidar qual a natureza da luz, uma vez que, na física, obviamente, buscamos entender, interpretar, explicar os fenômenos físicos, sendo neste caso, mais especificamente em relação a natureza da luz, o que nos intriga e fascina é compreendermos tais fenômenos físicos: interferência, difração, reflexão e refração, possibilitando utilizarmos a luz em uma variedade imensa de aplicações tecnológicas. Como afirmam Fragnito e Costa,

Difração é o nome genérico dado aos fenômenos associados a desvios da propagação da luz em relação ao previsto pela óptica geométrica (ou seja, de raios retilíneos) e que põem de manifesto a natureza ondulatória da luz. Fenômenos de difração são observados para todos os tipos de ondas. Raramente observamos a difração da luz no cotidiano. Entretanto, a difração das ondas sonoras é difícil de ser evitada; o som contorna obstáculos de tamanhos relativamente grandes, tais como pessoas, árvores e móveis de uma sala. Esta diferença entre a difração do som e da luz é devida à diferença entre os respectivos comprimentos de onda. O comprimento de onda do som é da ordem de 1 m, enquanto o da luz visível é da ordem de 500 nm. Ondas eletromagnéticas utilizadas na transmissão

de sinais de rádio, televisão e telefonia móvel, por exemplo, com comprimentos de onda que variam entre algumas dezenas de centímetros até alguns quilômetros, contornam facilmente obstáculos como árvores e carros e até prédios, dependendo do caso. A difração por uma fenda fina pode ser observada com uma montagem experimental simples e explicada matematicamente com um modelo também simples e que permite extrair conclusões gerais acerca da difração. Além disso, quando a luz se difrata por um conjunto de aberturas periódicas, se observam interessantes fenômenos de interferência entre as ondas originadas em cada abertura (FRAGNITO; COSTA, 2010, p. 1).

Por exemplo, tanto a **interferência** quanto a **difração** são relevantes fenômenos que distinguem ondas de partículas. Sendo a interferência uma superposição de duas ou mais ondas que se encontram em um ponto do espaço, quando isso ocorre, temos então a onda resultante em qualquer ponto em um dado instante que é determinada pelo princípio da superposição. Já a difração, trata-se da curvatura da frente da onda em torno de cantos que ocorre quando uma boa parte da frente de onda é interceptada por um obstáculo (SILVEIRA; BADILLO, 2021).

Para ilustrarmos o que acabamos de descrever basta compreendermos as cores da plumagem dos beija-flores, pois, trata-se de um fenômeno físico de interferência óptica. Não só nos beija-flores como também nas asas de alguns insetos, por exemplo, a borboleta Morpho, que tem asas de cor castanho na parte inferior, no entanto, já na superfície da parte superior da asa, o castanho é substituído pelo azul brilhante devido à interferência da luz. Na verdade, estamos a descrever algo bem mais intrigante e que demonstra bem a beleza e variabilidade dos fenômenos físicos em relação a luz e seus aspectos percebidos nas cores, uma vez que, a asa dessa mesma borboleta pode ser vista em vários tons de azul, conforme o ângulo de observação, isto é, a cor também é variável e a asa pode ser vista em vários tons de azul, conforme o ângulo de observação, resultado da difração da luz ao atravessar uma fenda ou passar por um obstáculo, neste caso mencionado. Embora aparentemente possa parecer somente uma mera questão acadêmica, de cunho teórico, trata-se de um fenômeno físico com inúmeras e incontáveis aplicações, especialmente, para avanços tecnológicos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER; 1996)

Segundo Silveira e Badilli (2021), vários cientistas e engenheiros usam o fenômeno de difração em dispositivos que exigem uma certa segurança, como em

cartões de crédito, documentos de identificação e cédulas de dinheiro que se baseiam em imagens variáveis segundo o ângulo de incidência da luz, uma outra relevante aplicação desses fenômenos físicos é o uso da difração na pesquisa da estrutura atômica dos sólidos e dos líquidos. Logo, estamos percorrendo de algo de suma importância não só no seu aspecto teórico, como no seu aspecto prático e aplicável ao nosso dia a dia.

Dito isto, como já afirmamos anteriormente, serão abordados os conceitos relacionados à óptica física, com ênfase em fenômenos como interferência e difração de ondas, tanto por uma única fenda quanto por múltiplas fendas, de forma a ajudar na compreensão da óptica geométrica quando necessário, por exemplo, por analogia. Além disso, apresentaremos alguns dispositivos ópticos de relevância em diversas aplicações tecnológicas, embora foquemos nossos esforços em pesquisarmos e investigarmos o que se refere a Pirâmide “Holográfica”.

Sabendo que a compreensão desses tipos de fenômenos físicos: interferência, difração, reflexão e refração, são de suma relevância, pois permitem a utilização da luz em uma ampla gama de aplicações tecnológicas. Visto que, como vimos, ratificamos que a interferência e a difração são fenômenos cruciais que permitem distinguir a luz como onda, em contraste com sua natureza de partícula; destacamos que iremos percorrer, nesta pesquisa, acerca de cada um deles somente com o objetivo de tornar mais viável a compreensão dos fenômenos físicos que estão envolvidos na Pirâmide “Holográfica”. Todavia que, para compreendermos os fenômenos mencionados, precisaremos entender bem os fenômenos básicos envolvidos na interferência e difração óptica, o que significa que não usaremos a especificamente a óptica geométrica (na qual a luz é descrita através de raios luminosos), e sim, abordaremos a natureza ondulatória da luz (SILVA, 2007). Segundo Souza, Silva, Huguenin e Balthazar, “compreensão luz como uma onda, nos traz, no mínimo, uma visão mais abrangente acerca da natureza da luz. Isso nos permite compreender uma série de fenômenos que não são explicados através do modelo de geométrico” (2015, p. 6).

Para melhor compreendermos, posteriormente, a Pirâmide “Holográfica”, precisaremos, também, termos a compreensão de que a luz se propaga na forma de

três tipos de feixes de luminosos, os quais são constituídos por múltiplos raios de luz ou pincéis de luz, trata-se da forma mais simples de propagação da luz. Dentre esses temos o feixe paralelo, trata-se dos raios de luz que, como o próprio nome já diz, são paralelos uns com outros, ou seja, não têm ângulos de abertura para separá-los no decorrer da propagação no meio, sendo demasiadamente usados em holofotes ou lanternas para mergulho; temos ainda o feixe divergente, no qual, diferentemente do feixe paralelo, já há um ângulo de abertura entre os raios de luz que faz com eles se separem à medida que se propagam no meio, utilizados nas lâmpadas domésticas ou lanternas comuns, onde percebemos este tipo de feixe; e por fim o feixe convergente, que ocorre quando raios de luz se aproximam no decorrer da propagação, porém, temos que destacar que para esse tipo faz-se necessário algum tipo de lente, como por exemplo, quando projetamos a luz do Sol em uma lupa para causar a combustão em pequenos pontos.

Figura 5 –Tipos de feixes de luz



Fonte: Mundo Educação (2024).

A óptica geométrica é a área da Física que estuda o comportamento da luz em situações em que as dimensões envolvidas, como os objetos e superfícies, são significativamente maiores do que o comprimento de onda típico da luz. Essa característica permite a simplificação do estudo por meio da abordagem dos raios luminosos, que representam a direção e o sentido da propagação da luz. Assim, a óptica geométrica busca compreender fenômenos associados à propagação retilínea da luz, à interação com diferentes superfícies e às leis da reflexão e refração. Esses estudos são fundamentais para explicar a formação de imagens, a visão, e outros fenômenos relacionados. Nesse contexto, inclui-se o objeto principal de nossa

pesquisa: a Pirâmide “Holográfica”, que explora princípios de propagação e reflexão da luz em meios transparentes e superfícies.

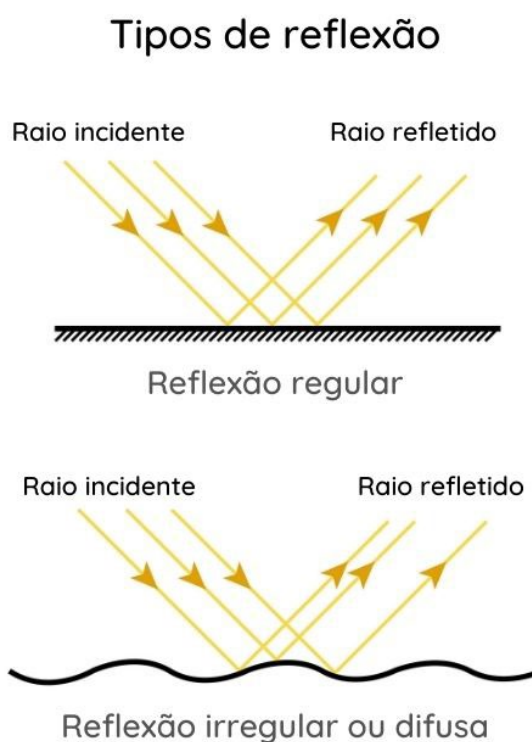
Importante destacarmos, para os propósitos de nossa pesquisa, que a óptica geométrica tem **três leis**, também pode ser chamadas de “três princípios”, as quais servem para evidenciar como acontece a propagação da luz em um meio, dentre elas temos: a **propagação retilínea da luz**, a qual tem como princípio que em um meio homogêneo, a luz sempre se movimenta de forma retilínea, neste caso, somente se a luz venha a trocar de meio (do ar para a água, por exemplo) ou se aproxime de alguma coisa que distorça enormemente o meio (como por exemplo um buraco negro ou um corpo muito massivo), ela não fará curvas, manter-se-á sempre em uma linha reta; temos também a **independência dos feixes de luz**, onde teremos um cruzamento dos feixes de luz, dois ou mais, não se interferem, isto é, nesse caso, quando os raios de luz se cruzarem, não haverá interferência destrutiva, havendo, no máximo, uma superposição de ondas, quando dois feixes luminosos incidem no mesmo lugar, eles só ficaram mais iluminados; e, por fim, a **reversibilidade do trajeto da luz**, no qual a trajetória de um feixe de luz não sofre mudança por ter seu sentido é invertido, ou seja, significando que o percurso que a luz atravessa para ir do ponto A até o ponto B é precisamente a trajetória que ela faz para ir de ponto B até ponto A (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996).

Para compreendermos a Pirâmide “Holográfica” precisamos entender, também, acerca dos **fenômenos da óptica geométrica**. Tais fenômenos decorrem, por exemplo, quando a luz é projetada sobre uma superfície, possibilitando que os observemos, sendo os principais: **reflexão, refração e absorção**.

Para discorrermos acerca da Pirâmide “Holográfica”, sem nenhuma dúvida, dos fenômenos da óptica geométrica, assinalados acima, a **reflexão** o mais importante e necessário para uma compreensão lucida e facilitada dos fenômenos físicos atrelados às projeções das pirâmides “holográficas”. Ocorre a reflexão quando a luz incide em uma superfície e retorna ao mesmo meio, em virtude de que o ângulo formado pelo raio incidente é igual ao do raio refletido, temos então a reflexão regular. Por exemplo, é o que acontece quando uma pessoa se coloca em frente a um espelho, visto que a imagem é igual ao objeto. No entanto, uma vez que

os ângulos sejam diferentes, acontece a reflexão difusa ou irregular, havendo, nesse caso, uma deformação da imagem em comparação com o objeto. Podemos citar como exemplo ilustrativo, desse caso, quando temos o reflexo do papel alumínio ou do vidro das janelas de automóveis. Vejamos tipos de reflexão na imagem a seguir:

Figura 6 – Tipos de reflexão



Fonte: Mundo Educação (2024).

Já a **refração** acontece quando a luz atravessa de um meio para outro, como já mencionamos, por exemplo, do ar para a água ou do ar para o vidro (no caso dos óculos). Após a mudança de meio de propagação, a luz sofre um desvio no seu percurso. Assim, é importante frisar que o ângulo do desvio depende do tipo de meio onde estava e do tipo do meio para o qual atravessou.

Figura 7 – Descrição geométrica da lei da refração



Fonte: Mundo Educação (2024).

Dos três fenômenos da óptica geométrica mencionados anteriormente – reflexão, refração e absorção –, é importante ressaltar que, em muitos casos, eles ocorrem simultaneamente. Um exemplo comum é o caso de um vidro transparente, onde parte da luz incidente é refletida na superfície, outra parte é refratada ao atravessar o material e, por fim, uma fração da energia luminosa é absorvida, sendo convertida em outras formas de energia, como a térmica.

Um exemplo prático para ilustrar o fenômeno da absorção no cotidiano pode ser observado ao vestir roupas escuras em dias de sol e temperaturas elevadas. Cores mais escuras absorvem uma maior quantidade de luz solar, convertendo essa energia luminosa em calor, o que aumenta a sensação térmica em relação a roupas claras, que refletem mais luz.

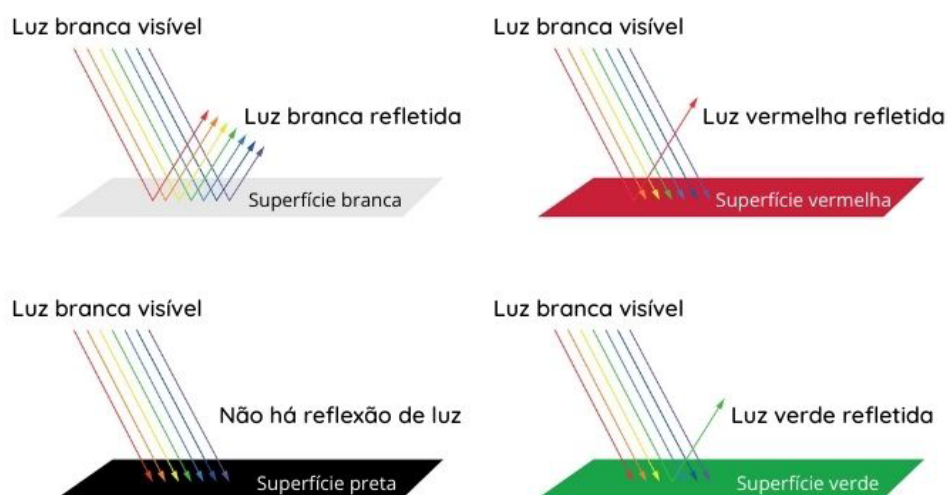
Assim, os fenômenos de reflexão, refração e absorção, regidos por princípios físicos como a Lei de Snell-Descartes, permitem compreender melhor a interação da luz com diferentes materiais e suas aplicações no dia a dia.

É importante percebermos as cores dos objetos em virtude da ocorrência da absorção e reflexão. Por exemplo, quando incidimos luz branca em um dado objeto, temos quase a totalidade dos espectros absorvidos e um é refletido. Esse espectro

refletido é o qual nos possibilita perceber a cor em questão. Um outro bom exemplo é na ocasião em que temos a incidência da luz branca em uma superfície igualmente branca, nesse caso, ela é totalmente refletida (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996). Já se temos uma a superfície é preta e incidimos luz branca ocorre o oposto, a luz é absorvida. Vejamos na ilustração a seguir:

Figura 8 – Espectro visível da luz branca

### Espectro visível da luz



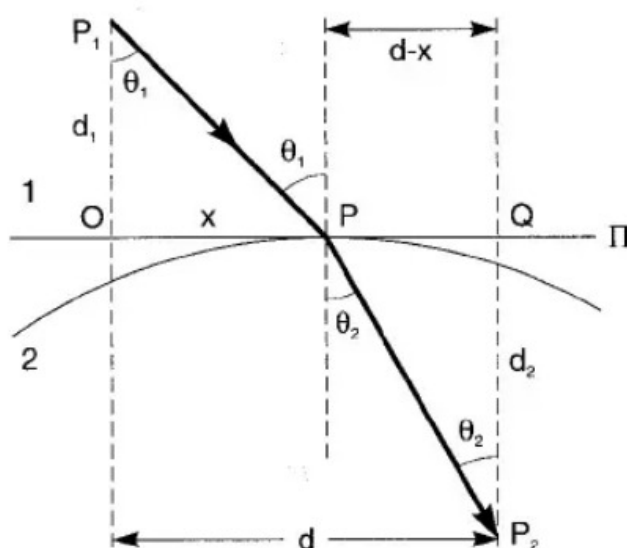
Fonte: Mundo Educação (2024).

## **1. A Teoria de Fermat**

A Teoria de Fermat, proposta pelo matemático Pierre de Fermat em meados do século XVII, estabelece que a trajetória seguida pela luz entre dois pontos é aquela que minimiza (ou, em alguns casos, maximiza ou estacionariza) o tempo de percurso; princípio conhecido como Princípio de Fermat, o que em nossa concepção foi crucial para o desenvolvimento das leis da óptica geométrica, especialmente a Lei de Snell, a qual descreve a refração da luz ao passar de um meio para outro com diferentes índices de refração. Dito isso, demonstraremos a Lei de Snell utilizando conceitos de cálculo diferencial, particularmente a derivada para encontrar o ponto de mínimo do caminho óptico, não somente, pois, ainda exploraremos algumas de

suas aplicações cotidianas, demonstrando a relevância prática deste princípio (NUSSENZVEIG, 1998).

Figura 9 – descrição do princípio de Fermat para a refração da luz.



Fonte: Nussenzveig (1998, p.12).

O caminho óptico  $L$  percorrido pela luz entre dois pontos  $P_1$  e  $P_2$  em meios com diferentes índices de refração  $n_1$  e  $n_2$  é definido como:

$$L = \int_{P_1}^{P_2} n ds$$

Onde:

- $n$  é o índice de refração do meio;
- $ds$  é o elemento infinitesimal do caminho percorrido.

Isso posto, discorreremos que para dois meios homogêneos (índices de refração  $n_1$  e  $n_2$ ) separados por uma superfície plana, a minimização do caminho óptico corresponde a encontrar a posição de um ponto de incidência  $P$  onde a luz muda de direção, respeitando a lei de Snell:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Onde  $\theta_1$  e  $\theta_2$  são os ângulos de incidência e refração, respectivamente.

Em virtude de demonstrarmos a Lei de Snell utilizando o Princípio de Fermat, consideremos um raio de luz que parte de um ponto  $P_1$  no meio 1 ( $n_1$ ), atinge a interface no ponto  $P$  e segue para o ponto  $P_2$  no meio 2 ( $n_2$ ). Suponha que  $P_1$  e  $P_2$  estejam em posições fixas e o ponto  $P$  na interface seja variável.

1. Definição das coordenadas

- $P_1(x_1, y_1)$  no meio 1 e  $P_2(x_2, y_2)$  no meio 2;
- O ponto  $P(x, 0)$  na interface (eixo  $y=0$ ).

2. Definição das distâncias

- Distância de  $P_1$  até  $P_2$ :

$$d_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + y_1^2}$$

- Distância de  $P$  até  $P_2$ :

$$d_2 = \sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}$$

3. Cálculo do caminho óptico total  $L(x)$

$$L(x) = n_1 d_1 + n_2 d_2$$

sando as expressões para  $d_1$  e  $d_2$ :

$$L(x) = n_1 \sqrt{(x - x_1)^2 + y_1^2} + n_2 \sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}$$

4. Minimização do caminho óptico (condição de Fermat)

Para encontrar o ponto  $x$  onde o caminho óptico é mínimo, derivamos  $L(x)$  em relação a  $x$  e igualamos a zero:

$$\frac{dL}{dx} = 0$$

Usando a regra da derivada para funções compostas, temos:

$$\frac{dL}{dx} = n_1 \frac{x - x_1}{\sqrt{(x - x_1)^2 + y_1^2}} - n_2 \frac{x - x_2}{\sqrt{(x - x_2)^2 + y_2^2}} = 0$$

5. Reorganização e interpretação geométrica. Multiplicando ambos os lados por:

$$\sqrt{(x - x_1)^2 + y_1^2} \sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2},$$

Obtemos:

$$n_1(x - x_1)\sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2} = n_2(x - x_2)\sqrt{(x - x_1)^2 + y_1^2}$$

Dividindo ambos os lados pelas respectivas hipotenusas, obtém-se:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Portanto, a Lei de Snell foi demonstrada a partir do Princípio de Fermat utilizando cálculo diferencial. Ela tem várias aplicações práticas, algumas das quais estão presentes no cotidiano, como: lentes de óculos e lentes de contato, as lentes utilizam o princípio da refração para corrigir problemas de visão, como miopia e hipermetropia. A forma e o material das lentes garantem que a luz atinja a retina no ponto correto; óptica de fibra, em cabos de fibra óptica, a refração interna total mantém a luz confinada no núcleo do cabo, permitindo a transmissão de sinais de forma eficiente; fenômenos naturais: arco-íris, ocorre devido à refração e reflexão da luz solar nas gotas de chuva. A mudança no ângulo da luz gera a separação da luz branca em suas cores constituintes; dispositivos de realidade aumentada (RA) e realidade virtual (RV), como óculos de RA e RV utilizam sistemas de lentes para redirecionar os raios de luz e criar a sensação de profundidade e imersão visual (NUSSENZVEIG, 1998).

Enfim, evidenciamos acima que o Princípio de Fermat e a Lei de Snell mostram como a luz “escolhe” o caminho de menor tempo ao se propagar entre dois meios. Assim, como a compreensão desses princípios reforça o papel fundamental da matemática e da física na sociedade contemporânea.

A Teoria de Fermat, especialmente o Princípio do Menor Tempo, possui uma conexão fundamental com o funcionamento da holografia e a formação de hologramas, uma vez que, como vimos, de acordo com esse princípio, a trajetória seguida pela luz entre dois pontos é aquela que leva o menor tempo possível. Na holografia, essa propriedade é crucial, pois a formação de um holograma depende da interferência coerente entre a onda de luz que incide diretamente sobre a placa fotossensível e a onda refletida ou espalhada pelo objeto. As diferenças de caminho percorridas por essas ondas determinam o padrão de interferência registrado na placa. Como o Princípio de Fermat governa o comportamento dos raios de luz ao se propagar em meios de diferentes densidades ou ao refletir em superfícies, ele explica como a luz “escolhe” o caminho mais eficiente para gerar as diferenças de fase necessárias à interferência construtiva e destrutiva que compõem o holograma. Assim, a teoria de Fermat fornece a base teórica para entender a formação dos padrões de interferência característicos dos hologramas, permitindo a codificação tridimensional das informações do objeto em uma superfície bidimensional (NUSSENZVEIG, 1998).

## **2. Diferença entre Holografia e Holograma**

Primeiramente, para seguirmos com nossa pesquisa, faz-se necessário distinguirmos dois conceitos extremamente importantes para a compreensão desta pesquisa, a saber: Holografia e Holograma. Embora sejam termos que se relacionem entre si e muitas vezes, erroneamente, tratados como sinônimos, são termos que têm significados bastante diferentes. Tal distinção é necessária por conta do próprio termo Pirâmide “Holográfica” (SCHIVANI; SOUZA; PEREIRA, 2018), uma vez que, nesta nossa pesquisa, decidimos utilizar o termo Holográfica entre aspas, isso quando nos referirmos a Pirâmide “Holográfica”, à medida que reconhecemos que com ela temos projeção de holograma e não de uma holografia, tal como explicamos anteriormente.

Segundo Born e Wolf (1999), a holografia é definida como o processo de criação de hologramas, enquanto o holograma corresponde à imagem tridimensional gerada por esse processo. Ambas são de relevantes e estratégicas aplicações, em especial para o avanço tecnológico que estamos vivenciando. Trata-se de

importantes técnicas da óptica, as quais têm diversas utilidades e em inúmeras áreas, incluindo arte, ciência, medicina, segurança e entretenimento. Logo, embora sejam conceitos intimamente relacionados, possuem significados diferentes.

A primeira é uma técnica de gravação e reconstrução de imagens tridimensionais através de padrões de interferência de luz. Já a segunda resulta da aplicação da técnica de holografia, sendo uma imagem tridimensional que pode ser vista de diferentes ângulos. Podemos inferir que a principal diferença entre ambas é que a holografia é o processo de criação da imagem, enquanto o holograma é a imagem em si. Então, vamos discorrer de ambos os significados separadamente. Contudo, trataremos da holografia de forma breve, pois, para discutirmos a Pirâmide “Holográfica”, precisaremos estar munidos de informações acerca do que é um holograma.

Enfim, podemos concluir, então, que o holograma representa uma imagem tridimensional gerada por meio da interferência de luz. Essas imagens são produzidas utilizando luzes laser, conforme explicado anteriormente, resultando em uma representação tridimensional do objeto. Por outro lado, a holografia é uma tecnologia que possibilita a gravação de informações em um filme fotográfico utilizando luz laser. Nesse processo, os dados são registrados em forma de feixes de luz, os quais são posteriormente exibidos quando o filme é iluminado. Essa forma de gravação de informações é altamente precisa e pode armazenar dados em três dimensões. Bem como, podemos definir que a principal diferença entre holograma e holografia reside no fato de que um holograma é uma imagem tridimensional exibida por meio de luz laser, enquanto a holografia é uma tecnologia que permite a gravação de informações tridimensionais em um filme fotográfico. Enquanto os hologramas são amplamente utilizados para fins de entretenimento e comunicação, a holografia possui uma gama mais diversificada de aplicações, abrangendo desde serviços médicos até o armazenamento de dados.

## **A Holografia**

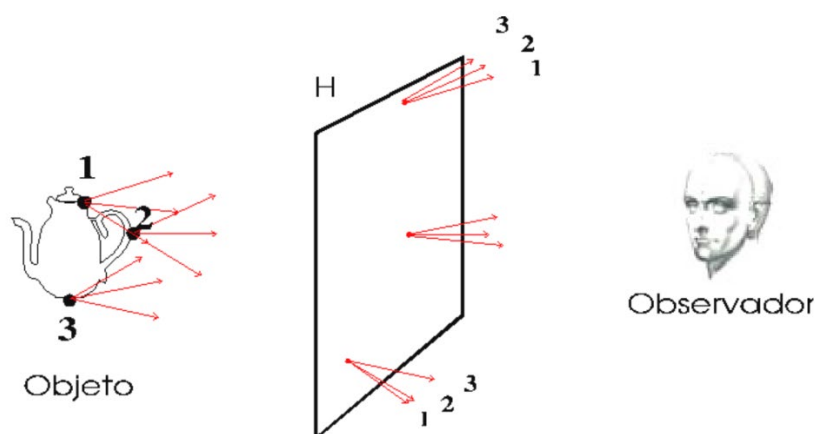
A tecnologia da holografia foi criada pelo físico húngaro **Dennis Gabor**, em 1948, feito este que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1971. No entanto, a

holografia somente começou a ser explorada a partir da década de 60, com o aperfeiçoamento do laser.

Quando discutimos o termo holografia, estamos nos referindo a uma técnica que utiliza a interferência da luz para criar a sensação de tridimensionalidade. Esse processo envolve a gravação e projeção de imagens que possibilitam a reconstrução de cenas de forma que, ao serem iluminadas e exibidas, proporcionem ao observador uma visão espacial imersiva, permitindo uma experiência visual de profundidade a partir de diversos ângulos. Isso acarreta uma sensação que se assemelha à observação de objetos reais, isto é, proporciona uma sensação de realismo e profundidade impressionante, uma vez que essa profundidade, a qual nos referimos, também constitui um registro tridimensional. Logo, podemos explicar a holografia como o registro e reprodução dos raios luminosos, é quase como se ocorresse um "congelamento", possibilitando que possamos atingir uma visão simples e prática do fenômeno, que envolve os princípios da interferência e difração das ondas, com muito menos formulação matemática da que comumente são descritas nos textos.

A holografia basicamente constitui-se em percebermos uma cena tridimensional da seguinte maneira: todos os pontos do objeto emitem raios de luz em diversos sentidos, como ilustrado nos pontos (1, 2 e 3) da figura 9. Logo, entre o objeto, onde esses raios luminosos são dispersos, e o observador, existe um plano intermediário. Esse plano contém, em cada ponto, um raio representativo de cada ponto do objeto. Graças aos dois olhos do observador, ele percebe a cena em terceira dimensão, permitindo-se deslocar para outra posição e receber novos raios de luz. Isso proporciona uma perspectiva diferente do objeto, oferecendo uma visão da cena a partir de um ângulo alternativo.

Figura 10 – Ilustração tridimensional



Fonte: Dennis Gabor (2024).

Assim, podemos concluir que a holografia é uma técnica avançada de registro e reprodução de imagens tridimensionais, fundamentada nos princípios da interferência de luz para criar a ilusão de profundidade e possibilitar a visualização de objetos em três dimensões. Esse processo é realizado por meio da divisão de um feixe de luz laser em dois: um feixe de referência, que permanece constante, e um feixe objeto, que ilumina o objeto a ser registrado. A interferência entre esses dois feixes, ao incidir sobre uma superfície fotossensível, grava o padrão de ondas luminosas resultante, capturando informações não apenas sobre a intensidade da luz, mas também sobre sua fase. Esse padrão de interferência é então utilizado para reconstruir a imagem tridimensional do objeto, permitindo que ela seja visualizada de diferentes ângulos. Segundo Soares,

A Holografia assenta em aspectos fundamentais de propagação do campo eletromagnético, de modo que não é surpresa poder ser explicada a sua plausibilidade por simples conexão de fenômenos e leis fundamentais conhecidas, sem o concurso, quer das complexidades dum rigoroso tratamento matemático, indispensável na análise quantitativa por técnicas holográficas, quer da linguagem de gráficos abstratos (SOARES, 1986, p. 8).

Trata-se de padrões de interferência de luz que criam uma imagem tridimensional, dando a impressão de que ela flutua no espaço devido à forma como a luz é manipulada. Durante o processo de gravação do holograma, o feixe de referência e o feixe objeto, ao se combinarem, geram um padrão de interferência que captura não só a intensidade da luz, mas também sua fase e as informações de profundidade do objeto. Esse padrão de interferência é registrado em uma

superfície fotossensível, como uma chapa de vidro ou filme, de maneira a armazenar todas as variações espaciais da luz.

Quando o holograma é iluminado por um feixe de luz apropriado (geralmente um feixe de laser ou outra fonte coerente), o padrão de interferência registrado na superfície holográfica reconstrói a luz original que foi refletida pelo objeto, criando a sensação de que a imagem tridimensional está "flutuando" no espaço. Essa imagem pode ser observada a partir de diferentes ângulos, permitindo que o observador perceba a profundidade e os detalhes do objeto, como se estivesse vendo o objeto real, sem a necessidade de dispositivos como óculos ou telas tridimensionais. A ilusão de flutuação ocorre porque a luz reconstruída pelo holograma segue trajetórias que imitam as trajetórias da luz refletida pelo objeto original.

Essa técnica tem diversas aplicações, desde arte e entretenimento até áreas científicas, médicas, e de segurança, sendo utilizada em hologramas, armazenamento de dados, e análises precisas em diversos setores. Nesta nossa pesquisa, nos interessa sua relação com os hologramas, os quais veremos a seguir e é tema central para compreendermos a Pirâmide "Holográfica", por isso, não aprofundaremos acerca da holografia, bastando-nos o que vimos até aqui e, também, que holografia e holograma são significados diferentes. Vejamos acerca dos hologramas.

## **O Holograma**

Os hologramas são produzidos a partir da luz laser, que é dividida em dois feixes luminosos, sendo um deles diretamente para a superfície na qual a imagem é criada e o outro refletindo um objeto real. Há então a combinação dos dois feixes, produzindo uma imagem de três dimensões. Para tanto, faz-se necessário, na criação de um holograma, três elementos primordiais: um laser, um espelho e um filme fotográfico.

O processo de criação de um holograma envolve diversas etapas. Inicialmente, o laser é empregado para iluminar o objeto, enquanto um espelho é utilizado para direcionar o laser para o objeto, formando um feixe de luz. Em seguida, um filme fotográfico é utilizado para capturar a imagem do objeto. Durante

a reflexão do laser no objeto, as ondas de luz interagem entre si, gerando uma interferência que resulta na formação de uma imagem tridimensional. Essa imagem é registrada no filme fotográfico. Posteriormente, ao projetar a luz laser no filme fotográfico, a imagem tridimensional do objeto é recriada. Assim, o holograma é finalizado, pronto para ser visualizado.

Essa imagem, a qual denominamos por holograma, resultante de ondas de luz que se combinam e interferem uma na outra, é distinta das imagens criadas por outros meios de projeção de imagens, como por exemplo a projeção de luz. No holograma, cada imagem contém informações tridimensionais, que quando visto de diferentes ângulos, a imagem parece se transformar. Isso é resultado da forma pela qual a luz é projetada e refletida de volta. Na maioria das vezes, a imagem parece ser projetada a partir de uma superfície plana, ao contrário de uma imagem bidimensional.

Pode-se enxergar dois tipos principais de hologramas: hologramas de estereótipo e hologramas realistas. Os hologramas de estereótipos, são criados com realidade aumentada, onde se podem criar objetos virtuais sobrepostos às imagens do mundo real. Já os hologramas realistas são criados a partir de feixes de laser, permitindo a criação de hologramas de movimentos de alta velocidade.

Um holograma é uma técnica de capturar e reproduzir a luz de maneira tridimensional, resultando em uma imagem que parece ter profundidade e volume. Diferente de uma fotografia comum, que captura apenas a luz refletida de um objeto em duas dimensões, um holograma registra a luz interferida por meio de padrões complexos. Isso permite que, ao ser visualizado sob a luz apropriada, o holograma apresente uma imagem tridimensional que parece estar “flutuando no espaço”, com diferentes ângulos de visão proporcionando diferentes perspectivas da imagem.

Assim, quando discorrermos acerca de hologramas, estamos nos referindo a imagens tridimensionais geradas a partir de luz laser. Trata-se de imagens formadas a partir da interferência de duas ou mais ondas de luz que se combinam, é isso que é um holograma.

Logo, podemos concluir que um holograma é uma representação, uma imagem tridimensional gerada pela projeção da luz sobre superfícies e/ou figuras bidimensionais. Essas representações em três dimensões são produzidas por meio do processo da holografia, que se baseia nas propriedades ondulatórias da luz. São bem similares a "miragens" ou "ilusões" extremamente realistas, isto é, reproduzindo em 3D imagens originalmente em duas dimensões ou mesmo tridimensionais. Porém, o holograma só funciona se houver propagação de uma fonte de luz em somente uma direção, como por exemplo um **raio laser**, ou ainda como, outro exemplo, um filme hipersensível.

É preciso salientar que os hologramas se dividem principalmente em duas categorias: os **hologramas de transmissão**, os quais requerem o uso da luz do laser; e os **hologramas de reflexão**, comumente utilizados em selos holográficos presentes, por exemplo, em cartões de crédito e diplomas. Estes últimos são produzidos com base na reflexão da luz.

### 3. Holograma: sua história e suas aplicações

Em 1947, Dennis Gabor concluiu um estudo crucial em sua carreira enquanto buscava aprimorar as imagens obtidas por meio da microscopia eletrônica de varredura. Esse estudo culminou no desenvolvimento do conceito teórico da holografia. A aplicação prática dessa descoberta se expandiu significativamente com o surgimento do laser, uma fonte de luz coerente. Por seus esforços nesse campo, Gabor foi laureado com o Prêmio Nobel de Física em 1971.

Com o intuito de aprimorar a microscopia eletrônica de varredura, Gabor iniciou sua pesquisa explorando alternativas ao conceito de frente de onda. Ele visava utilizar a informação de intensidade e direção de um objeto iluminado contida numa frente de onda. Sua ideia consistia em criar uma imagem por meio da interferência entre dois feixes de luz: um proveniente do objeto a ser imagem, e o outro denominado como feixe padrão. Quando essa imagem é registrada em um filme, torna-se visível tridimensionalmente e em cores variadas quando iluminada por um feixe de luz em ângulos específicos (BAGNATO, 2008).

Um desafio significativo para a aplicação eficiente do holograma era a complexidade em obter dois feixes de luz coerentes, essenciais para formar o padrão de interferência. Contudo, com a invenção do laser, a utilização da holografia - esse método de registrar uma imagem tridimensional - expandiu-se consideravelmente, encontrando aplicações nas indústrias, nas artes, na pesquisa, nas telecomunicações, entre outros campos.

Nos setores comerciais, o holograma desempenha um papel crucial em medidas antifraude, encontrando aplicação em cartões de crédito, selos e outras formas de proteção. Devido ao seu padrão de cores, é uma solução acessível e confiável para garantir essa segurança. Um exemplo claro disso é evidenciado na nota de R\$ 20,00 (vinte reais), onde ao iluminarmos a faixa holográfica, percebemos uma variedade de cores que se manifestam em ângulos específicos de visão. Da mesma forma, nos cartões de crédito, podemos visualizar uma pomba ou um globo em três dimensões. A autenticidade do documento é assegurada pelo padrão de cores visível quando iluminado.

Figura 11 – Cartão de crédito com imagem da pomba.



Fonte: thumbs.dreamstime,(2024).

Figura 12 – Cédula de 20 reais com faixa holográfica.



Fonte: moedas do Brasil (2024).

Uma inovação relevante no uso do holograma nesta esfera é o holograma animado, que pode conter mais de 100 imagens distintas em um único holograma. Estas, quando sequencialmente organizadas, criam uma animação. A presença de um elevado número de imagens no holograma serve como um mecanismo eficaz contra a pirataria. Com os avanços das pesquisas, o uso do holograma está se intensificando e abrindo caminho em várias áreas tecnológicas.

É perceptível que os hologramas estão emergindo como uma tendência proeminente no mercado de tecnologia. Sua crescente popularidade se deve às novas tecnologias que viabilizam a produção de imagens tridimensionais realistas e interativas (SOARES, 1986). Essa avançada tecnologia proporciona uma experiência visual mais envolvente, permitindo que os usuários se conectem de maneira mais profunda e realista com o conteúdo, proporcionando a sensação de presença física. Não somente, ainda podemos destacar que conseguem oferecer uma experiência imersiva, abrindo novas possibilidades para os entusiastas da tecnologia explorarem uma forma inovadora de interação com os dados, facilitando a criação de ambientes virtuais e experiências únicas, sendo, também, empregados para entretenimento, como projeções 3D, para pesquisas científicas, auxiliando no estudo de átomos e moléculas e na criação de interfaces de usuário mais intuitivas em dispositivos eletrônicos.

Vale destacar que, com o avanço da tecnologia, os hologramas agora podem ser reproduzidos em certos smartphones e outros dispositivos, o que é de extrema

importância para conseguirmos desenvolver nossa Pirâmide “Holográfica”, tal como apresentaremos no decorrer deste trabalho.

#### 4. Pirâmides “Holográficas”

Para discutirmos acerca das pirâmides “holográficas”, antes, destacaremos de forma ilustrativa a sua proeminência na indústria cinematográfica, particularmente, quando o assunto é sobre filmes de ficção científica e de ação, nos quais comumente temos alusão a imagens tridimensionais adoradas pelo grande público, normalmente, definidas como hologramas. Segundo Araújo e Schivani,

Nesse universo ficcional, encontramos cenas e situações de filmes nos quais supostos hologramas são empregados para os mais diversos fins, por exemplo: *Resident Evil: O Hóspede maldito*, quando a “rainha vermelha” conversa com os protagonistas; *Star Wars Episode IV: A New Hope*, nas mensagens transmitidas pelo robô R2D2; *Prometheus* e *Avatar*, na exibição de mapas com informações geográficas e geológicas de uma determinada região investigada; e *Homem de Ferro 2*, nas diversas situações em que a personagem Tony Stark interage com seus sistemas que geram imagens virtuais (ARAÚJO; SCHIVANI, 2018, p. 4).

Os hologramas não se limitam apenas às telas de cinema, sendo frequentemente mencionados e utilizados em diversos contextos, como em eventos de premiação de grande porte, campanhas de marketing, cenários políticos durante campanhas eleitorais, espetáculos musicais e até mesmo em campanhas de aeroportos para gerenciar e organizar as filas de embarque. Ainda conforme Araújo e Schivani,

O *Billboard Music Awards* (edição de 2014) e o *Coachella Fest* (edição 2012), por exemplo, surpreenderam boa parte do público ao exibirem no palco performances encenadas por cantores já falecidos, como Michael Jackson (1958 - 2009) e Tupac Shakur (1971 - 1996), respectivamente. Já os aeroportos de Manchester, no Reino Unido, e o de Luton, em Londres, não “ressuscitaram os mortos”, mas geraram algumas polêmicas em meados de 2011 quando anunciaram uma possível redução de seu quadro de funcionários ao utilizarem assistentes virtuais para orientar os passageiros (ARAÚJO; SCHIVANI, 2018, p. 5).

Em certas estratégias de marketing e eventos corporativos, há o uso de dispositivos conhecidos, erroneamente, como “pirâmides holográficas”, objetivando promover produtos através de imagens supostamente holográficas. Ao contrário das imagens exibidas em shows e em campanhas aeroportuárias, que têm a altura aproximada de uma pessoa comum, as imagens produzidas por essas pirâmides de

formato quadrangular são de proporções menores, geralmente não ultrapassando 50cm de altura. Porém, essas projeções não decepcionam em termos de qualidade visual e sofisticação alcançável. Elas têm a capacidade de transmitir a impressão nítida de que o espectador está diante de um objeto real e tangível. Em algumas circunstâncias, as imagens exibidas também induzem a sensação de interação com objetos concretos, além de criar uma percepção de profundidade (ARAÚJO; SCHIVANI, 2018).

Figura 13 – Demonstração de Holografia realizado pelo professor.



Fonte: Elaboração do autor (2024).

Tanto as cenas visuais nos filmes e séries quanto as representações de hologramas em eventos específicos têm o poder de estimular a imaginação coletiva e despertar a curiosidade, especialmente entre o público jovem ávido por inovações tecnológicas. No entanto, isso levanta várias perguntas: as imagens de artistas, assistentes virtuais e objetos em geral podem ser verdadeiramente classificadas como hologramas? Como essas projeções são formadas e quais são as características que definem os hologramas?

Feito esses questionamentos, discutiremos algumas definições conceituais e técnicas a respeito da concepção e do desenvolvimento dos hologramas, com a pretensão de instigar e/ou iniciar uma análise sobre as pirâmides “holográficas”. Aqui estão alguns equívocos conceituais comuns quando se referem a certas imagens exibidas em vários contextos como hologramas. No caso das projeções geradas pelas pirâmides “holográficas”, abordamos os fenômenos de reflexão e refração da

luz ao atingir as superfícies que compõem as faces da pirâmide, destacando que tais projeções não se configuram como hologramas e, tampouco, como imagens tridimensionais.

Ainda que estejamos vivenciando um dos maiores avanços nas pesquisas atuais sobre a produção de hologramas dinâmicos, capazes de calcular a difração e os padrões de interferência de forma dinâmica e em tempo real, ainda não dispomos da tecnologia necessária para criar vídeos holográficos projetados no espaço com capacidade de interação com o observador, como os mostrados nos filmes de ficção científica mencionados anteriormente. Portanto, observamos que o termo "holograma" tem sido frequentemente utilizado de maneira incorreta para descrever uma ampla variedade de imagens e animações, incluindo aquelas visualizadas por meio das pirâmides "holográficas".

Nesta aplicação do produto educacional, tomamos o cuidado de diferenciarmos o termo holografia do termo hologramas, então, não iremos continuar este debate, só fizemos essas referências para demonstrar como tem ocorrido equívocos em determinar o que é uma Pirâmide “Holográfica”, demonstrando o quanto precisamos ter cuidado quando nos referirmos ao que denominaremos aqui, nesta pesquisa, ou onde quer que seja, por Pirâmide “Holográfica”.

A criação dessas pirâmides por estudantes e professores, além de seu uso no ensino de física em diferentes níveis educacionais, pode suscitar questões e desafios que as transformam em valiosos recursos didáticos. Como será abordado posteriormente, a sensação de tridimensionalidade percebida pelo observador e o processo de construção das próprias pirâmides podem promover o ensino e a aplicação de conceitos matemáticos e óptica geométrica de maneira contextualizada e desafiadora.

## **5. O potencial didático das Pirâmides “Holográficas”**

O caráter lúdico das ilusões de óptica e sua capacidade de despertar a curiosidade em pessoas de diversas idades e níveis educacionais são indiscutíveis. Medeiros destaca que,

[...] as ilusões de óptica poderiam ser úteis, não apenas no ensino da própria Óptica, mas igualmente, para auxiliar os estudantes no desenvolvimento dos processos de observação, comunicação, controle de variáveis, formulação de hipóteses, coleta e interpretação de dados (MEDEIROS, 2008, p. 333).

Todos esses aspectos se fazem presentes ao investigarmos questões como, por exemplo, os processos de formação das imagens e os elementos determinantes para ampliar a projeção por meio das pirâmides “holográficas”? Essa indagação pode representar um verdadeiro desafio para o estudante, incentivando sua curiosidade inicial a superar obstáculos, evoluindo para uma abordagem mais crítica e epistemológica. Ou seja, buscando uma compreensão mais completa e aprofundada sobre determinados aspectos do objeto que inicialmente despertou sua curiosidade (SCHIVANI; SOUZA; PEREIRA, 2018). Segundo Schivani, Souza e Pereira,

O educando pode ser estimulado inicialmente fomentando seu desejo de reprodução desse ou daquele artefato e fenômeno que despertou sua curiosidade ingênua. No caso das pirâmides “holográficas”, não faltam nas redes e mídias sociais esquemas e procedimentos ensinando como desenvolver esses mecanismos. É possível, por exemplo, sua confecção fazendo uso de diferentes materiais e a um custo reduzido em comparação aos de uso comercial (que podem empregar películas ou filmes de projeção de alta qualidade e propriedades ópticas especiais). Ao se utilizar pequenos displays, como smartphones entre 4,5” e 6”, as pirâmides quadrangulares construídas com finas lâminas de transparência (aquelas usadas nos retroprojetores) ou folhas de acetato transparentes em geral são as mais indicadas, com dimensões que não ultrapassam 6,0cm de aresta da base e 3,5cm de aresta lateral (SCHIVANI; SOUZA; PEREIRA, 2018, p. 5).

Com base na qualidade das películas, no display, na iluminação ambiente e no ângulo de visualização, as pirâmides podem proporcionar resultados visuais excelentes, exibindo imagens nítidas que criam a impressão realista de observar um objeto tridimensional dentro delas. Utilizando esse sistema, é possível iniciar várias perguntas e investigações preliminares, como aquelas relacionadas à natureza da imagem na superfície da pirâmide ou à razão do formato piramidal. Entretanto, ao questionarmos os fatores determinantes para a produção de imagens maiores e mais definidas através das pirâmides “holográficas”, talvez nos deparemos com seu maior potencial didático, impulsionando a transição da curiosidade inicial para um enfoque epistemológico. A princípio, pode parecer que a criação de pirâmides maiores não acarreta grandes desafios físicos ou implicações significativas, mas essa suposição não é verdadeira. Ao construir essas estruturas com o objetivo de

gerar imagens maiores e mais claras, alguns fenômenos ópticos se tornam mais proeminentes, tornando a construção da pirâmide um desafio didático mais intrigante e cativante (SCHIVANI; SOUZA; PEREIRA, 2018, p. 5-6).

O público que contempla as pirâmides mencionadas pode ficar fascinado pela sensação de imaterialidade e flutuação da imagem observada, resultado da ausência de percepção, por parte do observador, do display responsável pela projeção. No entanto, o mistério por trás da formação das imagens "holográficas", aparentemente tridimensionais e presentes dentro das pirâmides, pode ser elucidado ao bloquear manualmente com a mão ou uma folha de papel a imagem de um dos quatro segmentos projetados pelo display. Ao bloquear a imagem desse segmento no display, a face da pirâmide alinhada a ele não mais exibirá a imagem para o observador posicionado de frente para ela. Alterando os segmentos bloqueados e a posição do observador, é evidenciado que se trata de uma imagem refletida, assim como o reflexo de nossa imagem em um espelho plano. Tanto a imagem vista no espelho plano quanto aquela refletida pelas faces da pirâmide são imagens virtuais, formadas pela trajetória dos raios luminosos. Adicionalmente, dependendo do público e de seu nível educacional, essas observações podem ser confrontadas com as definições e processos de produção de hologramas, como discutido anteriormente, enfatizando as peculiaridades dos hologramas.

Nossa proposta é de uma pirâmide feita de material plástico, durável e ecológico. O comprimento é de 12,5cm, a largura é 12,5cm e a altura é 5cm.

Após análises e estudos sobre a aplicação dos princípios educacionais de Paulo Freire (1996) no ensino de ciências, aliados a *insights* provenientes de outros pensadores e obras, destaca-se a problematização como um elemento fundamental no desenvolvimento da prática educativa. Isso se dá por meio do que foi denominado como momentos pedagógicos, os quais servem como eixo estruturador das atividades docentes, quais sejam: a) problematização inicial; b) organização do conhecimento; c) aplicação do conhecimento (DELIZOICOV, 2005).

Compreendemos que a partir da Pirâmide "Holográfica", podemos iniciar uma problematização que possa proporcionar um distanciamento crítico do educando

frente as situações postas para discussão; visando fundamentalmente instigar explicações aparentemente contraditórias ou limitadas para a compreensão e resolução do problema inerentes a construção e aplicabilidade da pirâmide em questão, revelando-se um potencial didático do uso delas nas aulas de física. Por exemplo, a etapa de organização do conhecimento consistiria na tomada de consciência do problema e dos conhecimentos necessários para solucioná-lo, provocando o necessário surgimento do confronto os conhecimentos intuitivos e prévios dos estudantes aos conhecimentos especializados do professor.

Assim, na aplicação do conhecimento podemos avaliar a amplitude e extensão dos novos saberes absorvidos pelos estudantes. Isso se destina não apenas à análise e interpretação das situações apresentadas inicialmente para problematização, mas também a outras questões e cenários que podem ser compreendidos por meio desse mesmo conhecimento. Esse processo permite que os alunos alcancem um segundo patamar de sistematização do conhecimento, buscando ampliá-lo para outras situações de natureza semelhante. Essa habilidade é crucial, pois a aplicação do conhecimento transcende a mera exemplificação do conteúdo ensinado, transformando-se em uma ferramenta de pensamento reflexivo. Trata-se de buscarmos resolução e naturalmente nos engajamos na organização e aplicação do conhecimento, realçando o potencial didático da pirâmide mencionada.

A partir das pirâmides “holográficas” como prática pedagógica, acarretando uma inovação na compreensão da óptica geométrica, construiremos e demonstraremos uma sequência didática através da metodologia de Sala de Aula Invertida e aplicando o PBL. Tal metodologia, a saber, trata-se de modelo de Ensino Híbrido (BRANDÃO, 2020). Pois, enquanto explorávamos certos conceitos de óptica geométrica e matemática, percebemos que estávamos imersos em vários princípios científicos que, dependendo do nível educacional, poderiam ser explorados em sala de aula, isso inclui formulação de hipóteses, coleta e interpretação de dados, testes e controle de variáveis, logicamente, por meio da sequência didática destacada anteriormente, a ser inserida em nossas salas de aulas, conforme nossa pesquisa evidencia e demonstraremos adiante.

Explicaremos a seguir o modelo de Ensino Híbrido, mais especificamente a partir da metodologia de Sala de Aula Invertida aplicando o PBL, no intuito de, posteriormente, apresentarmos os resultados de nossas experiências junto aos alunos dos segundos anos do ensino médio, com os quais trabalharemos a Pirâmide “Holográfica” por meio da sequência didática que propomos, tal como descrita anteriormente.

### **3. SEQUÊNCIA DIDÁTICA: MODELO EDUCACIONAL DE ENSINO HÍBRIDO A PARTIR DO FORMATO DE SALA DE AULA INVERTIDA APLICANDO O PBL**

#### **1. O que é o modelo de Ensino Híbrido**

A educação híbrida tem sido apresentada como um novo paradigma educacional que combina atividades presenciais e digitais, promovendo a autonomia dos estudantes e valorizando suas experiências (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015). Daí o termo em inglês *blended*, a ação protagonizada pelo estudante e o compartilhamento desses estudos com outros grupos em estudos *on-line/off-line*, tendo os recursos digitais (*tablets*, celulares, computadores, entre outros) como ferramentas a serem utilizadas em vários locais, não ficando o grupo e o ensino-aprendizagem restrito à sala de aula. Dentre as vantagens divulgadas pela prática, destacam-se, sobretudo, a flexibilidade, rotatividade, autonomia, inserção no mundo digital, integração e colaboração entre os estudantes, dentre outras.

Educação híbrida ou ensino híbrido, conhecido também como “*blended learning*”, tornou-se um conceito-chave para compreendermos a educação na atualidade, ainda que o ensino híbrido sempre tenha estado presente na educação, uma vez que, ele não se limita somente ao que se é planejado de forma intencional e institucional. Embora a aprendizagem se dê, também, por meio de processos organizados, ela igualmente se dá a partir de processos abertos e informais (BACICH; MORAN, 2015, p. 27), alterando a relação entre o professor e os estudantes, isto é, o professor passa a exercer um papel de mediador do

conhecimento, não mais de portador e/ou detentor do conhecimento, como foi durante muito tempo o ensino tradicional. Segundo Masetto,

O professor, como já foi dito, também assume uma nova atitude. Embora, vez por outra, ainda desempenhe o papel do especialista que possui conhecimentos e/ou experiências a comunicar, no mais das vezes desempenhará o papel de orientador das atividades do aluno, de consultor, de facilitador da aprendizagem, de alguém que pode colaborar para dinamizar a aprendizagem do aluno, desempenhará o papel de quem trabalha em equipe, junto com o aluno, buscando os mesmos objetivos; numa palavra, desenvolverá o papel de mediação pedagógica (MASETTO, 2000, p.142).

Em uma perspectiva de uma educação emancipatória, devemos compreender que ensinar não é transferir conhecimento, e sim, criar possibilidades para a seu desenvolvimento e construção (Cf. FREIRE, 2009).

Para entendermos mais profundamente em que consiste a proposta metodológica da educação híbrida, faz-se necessário compreendermos o conceito de híbrido. Neste sentido, indicamos as palavras de Moran:

Híbrido significa misturado, mesclado, blended. A educação sempre foi misturada, híbrida, sempre combinou vários espaços, tempos, atividades, metodologias, públicos. Esse processo, agora, com a mobilidade e a conectividade, é muito mais perceptível, amplo e profundo: é um ecossistema mais aberto e criativo. Podemos ensinar e aprender de inúmeras formas, em todos os momentos, em múltiplos espaços. Híbrido é um conceito rico, apropriado e complicado. Tudo pode ser misturado, combinado, e podemos, com os mesmos ingredientes, preparar diversos pratos', com sabores muito diferentes (BACICH; MORAN, 2015, p. 22).

Trata-se de uma abordagem pedagógica que mescla atividades presenciais e atividades realizadas por meio das tecnologias digitais de informação e comunicação (TDICs). O que é essencial nesta estratégia é a compreensão da mudança de foco, isto é, o foco dessa abordagem deixa de ser a transmissão de informação que o professor tradicionalmente realiza e passa a ser o processo de aprendizagem do estudante. Portanto, o conteúdo e as instruções sobre um determinado conteúdo curricular não são transmitidos apenas pelo professor em sala de aula. Os estudantes passam a estudar de forma autônoma sob orientação e seguindo o planejamento do professor. Por exemplo, os alunos estudam os conteúdos e acessam os materiais pedagógicos em diferentes situações e ambientes, desta forma, a sala de aula passa a ser o lugar de aprender ativamente, realizando atividades de resolução de problemas ou projetos, discussões, laboratórios, entre

outros, com o apoio do professor e colaborativamente com os colegas (BACICH; NETO; MELLO, 2015, p.14).

A educação híbrida visa uma metodologia que objetiva criar desafios para estimular os alunos, seja individualmente ou em grupos, como, por exemplo, a resolução de problemas ou criação de projetos complexos. Trata-se de um processo de aprendizagem que deve ser coordenado por professores que, em tese, irão supervisionar cada aluno individualmente em atividades que proporcionem um contato direto e o desenvolvimento do processo de aprendizagem. Logo, “o ensino híbrido pode ser considerado um novo paradigma para as práticas sociais e educacionais e, portanto, um grande desafio” (COLL 2010,p.119).

A despeito do desafio do enfrentamento de um novo paradigma do sistema educacional e dos métodos de ensino-aprendizagem, aparecem constantemente mudanças no mundo digital que impactam na vida dos indivíduos e sociedade como um todo, e é neste mundo digital que, cada vez mais rapidamente, estudantes e professores estão se inserindo e inseridos. Essa “integração cada vez maior entre sala de aula e ambientes virtuais é fundamental para abrir a escola para o mundo e trazer o mundo para dentro da escola.” (BACICH; MORAN, 2015, p.45).

Assim, a partir da concepção de ensino híbrido (*blended-learning*), os docentes analisarão os alunos individualmente, podendo identificar em quais aspectos o aluno tem dificuldade de aprendizagem, por exemplo, utilizando o método flexível, no qual, há autonomia para planejar e personalizar o que se percebe como fundamental para que se desenvolva a aprendizagem atendendo as necessidades de cada aluno individualmente a partir de processos de ensino-aprendizagem mais abertos, com mistura de várias áreas de conhecimento e alunos diferentes, com atividades tanto física como digital, promovendo aprendizagem e integração em sua forma híbrida, contextualizados num ambiente em que a tecnologia possa ser inserida, possibilitando uma educação capaz de romper barreiras e ultrapassar os muros das escolas. Nessa perspectiva, o ensino híbrido propiciará uma educação com troca intensa, rica e ininterrupta de conhecimento, conectada ao mundo todo, com suas diferentes ideias, pessoas e acontecimentos,

visto que, na atualidade, as tecnologias ampliam as possibilidades de pesquisa *online*, com materiais importantes e atualizados (Cf. BACICH; MORAN, 2015).

São inúmeras as definições para o ensino híbrido, no entanto, a que tem sido mais aceita pelos pesquisadores da educação e sido aceita como a mais relevante para o contexto educacional, além de ter sido a primeira a ser formulada, em relação ao ensino híbrido tal como vem sendo discutido hoje, é a proposta pelo Instituto Clayton Christensen, anteriormente chamado Innosight Institute. É a partir dessa definição que discutiremos e analisaremos o ensino híbrido.

A proposta formulada pelo Instituto Clayton Christensen, denominada de ensino híbrido, propõe o uso de recursos tecnológicos como ponto central e nevrálgico para o desenvolvimento do ensino-aprendizagem, possibilitando a customização do modelo de ensino em conformidade com o contexto e os objetivos em questão. Porém, é extremamente importante ressaltar que se trata de uma proposta na qual não se defende o abandono do ensino tradicional, isto é, propõe que não há necessidade de se abandonar o que se tem obtido com a educação tradicional desenvolvida até os dias atuais e resultados que se tem alcançado no âmbito educacional para que se possa promover a inserção de novas tecnologias em sala de aula e consequentemente promover o modelo de ensino híbrido. Nessa proposta de ensino híbrido deve-se utilizar o que há de melhor no que denominamos por ensino tradicional e conectá-lo às inovações da proposta de educação pensada a partir do modelo de ensino híbrido (BRANDÃO, 2021).

O Clayton Christensen Institute publicou três artigos acadêmicos descrevendo o surgimento do ensino híbrido, ou seja, programas de educação formal que combinam o ensino *online* com escolas tradicionais, repensando as estratégias de condução da aula e do ensino-aprendizagem. Para alcançar esse propósito, o Instituto Clayton Christensen propõe modelos de rotação como estratégia de condução de aula. Nessa proposta, os alunos são organizados em grupos e revezam as atividades realizadas conforme as orientações do professor, a partir de um horário fixo ou não (BRANDÃO, 2021).

As principais formas com foco nessa customização, que nos referimos anteriormente, é o modelo de rotação. Trata-se de uma proposta na qual o estudante passe por diversos e distintos ambientes de aprendizagem, seja dentro do espaço de sala de aula ou fora dele. Assim, os alunos realizarão atividades diferentes e relacionadas ao que se está aprendendo, possibilitando mais mecanismos de ensino que possam facilitar o desenvolvimento do ensino-aprendizagem e, conseqüentemente, a consolidação do conhecimento.

Segundo Brandão (2021), nesta proposta, os ambientes tradicionais da sala de aula e os novos espaços de aprendizagem, a partir de uma metodologia híbrida de ensino, complementam-se, propiciando ao estudante um maior contato e aprofundamento com o conteúdo que está sendo estudado. Os formatos de modelos de rotação para o desenvolvimento do ensino híbrido foram apresentados pelo Instituto Clayton Christensen da seguinte forma: rotação por estações, laboratório rotacional, rotação individual e sala de aula invertida, esse último é o que trataremos de forma mais aprofundada a seguir, por se tratar do objeto de nossa pesquisa. Vejamos um a um desses formatos de usuais no Ensino Híbrido:

- **Rotação por estações:** a partir dos objetivos pretendidos pelo professor, os alunos são organizados em grupos com tarefas específicas a serem realizadas para cada um desses grupos, onde um dos grupos estará envolvido com propostas *on-line* que, desse modo, não precisado acompanhamento direto do professor. Vale salientar que se passa a dar mais importância a momentos em que os estudantes passem a desenvolver tarefas de forma colaborativa, contudo, atrelado, também, à realização de tarefas e momentos individuais. Havendo troca de grupos e, conseqüentemente, realização de novas tarefas, garantindo um revezamento em que todos os alunos passem por todos os grupos e suas respectivas tarefas a serem realizadas. Isso tudo sendo previamente combinado com os alunos e com tempo determinado. Objetiva-se que ao fim da aula todos os alunos tenham tido acesso aos mesmos conteúdos, com atividades planejadas que não seguem necessariamente uma ordem de realização, sendo de certa forma independente, apesar de funcionarem de modo integrado.

- **Laboratório rotacional:** o estudo ocorrerá virtualmente, de forma *on-line*, com metade da turma. Os alunos usarão computadores ou *tablets* (podem usar laboratório de informática), desenvolvendo atividades nos computadores individualmente e de maneira autônoma, visando executar os objetivos determinados pelo professor, que ficará com a metade da turma, ministrando sua aula da forma que julgar mais adequada de acordo com seus objetivos previamente definidos. Essa proposta é similar ao formato de rotação por estações, na qual os estudantes realizam essa rotação em sala de aula; no entanto, na proposta de laboratório rotacional, os estudantes realizarão atividades individuais em seus respectivos computadores, prioritariamente nos laboratórios de informática, sendo acompanhados por um professor tutor. Esse formato objetiva potencializar o uso dos computadores em escolas que contam com laboratórios de informática.
- **Rotação individual:** o professor repassa aos alunos uma lista de atividades e tarefas que os alunos devem realizar durante a aula presencial. Nesse modelo, tem-se com o foco o caminho a ser trilhado pelo aluno de acordo com sua aptidão e com suas dificuldades, que devem ser identificadas previamente a partir de uma avaliação inicial, portanto, aspectos como avaliar para personalizar é muito importante para o desenvolvimento deste modelo de rotação. Note que há uma diferença entre essa proposta de rotação e as que foram apresentadas anteriormente. Nessa proposta, os alunos não necessariamente rotacionam pelas modalidades ou estações propostas, pois, suas tarefas e atividades diárias são individuais e personalizadas de acordo com as necessidades de cada aluno específico identificadas anteriormente. O tempo de rotação pode ser livre ou variar em conformidade com as necessidades apresentadas por cada aluno em particular, podendo não ocorrer rotação e ser necessária a determinação de um tempo para o uso dos computadores disponíveis. A forma de condução da rotação individual se dará a partir de cada estudante e das opções estabelecidas pelo professor para encaminhar as tarefas e atividades a serem desenvolvidas.
- **Sala de aula invertida:** o aluno estuda o conteúdo da aula em casa, antes da aula e no formato *on-line*, por meio de leituras e vídeos. O momento

presencial no espaço da sala de aula passa a ser usado para resolução de atividades, debates, dúvidas a serem apresentadas pelos alunos, entre outras propostas.

É possível pensarmos algumas formas de potencializar esses formatos de rotação que são propostos, oferecendo possibilidades de interação com o conteúdo a ser estudado antes do estudo da teoria, envolvendo as descobertas e experimentações, como por exemplo, no formato da sala de aula invertida em consonância com laboratório rotacional, visto que inúmeros estudos vêm revelando que o aluno estrutura sua visão acerca do mundo ativando conhecimentos prévios e integrando as novas informações com as estruturas cognitivas já existentes, possibilitando, então, pensar criticamente sobre os conteúdos ensinados, o que possibilita uma melhor compreensão conceitual sobre uma ideia, pois, exploram um domínio primeiro e só a partir disso passam a ter contato com uma forma tradicional de ensino, a título de exemplo: aulas expositivas, palestras, leitura de um texto etc. Segundo Freire (2009), ensinar exige respeito aos saberes dos alunos e criticidades, defendendo que:

[...] a promoção da ingenuidade para a criticidade não se dá automaticamente, uma das esferas precípuas da prática educativo-progressista é exatamente o desenvolvimento da curiosidade crítica, insatisfeita e indócil. Curiosamente com que podemos nos defender de 'irracionalismos' decorrentes ou produzidos por certo excesso de 'racionalidade' de nosso tempo altamente tecnologizado. E não vai nesta consideração de que, de um lado, não diviniza a tecnologia, mas de outro a diaboliza. De quem a olha ou mesmo a espreita de forma criticamente curiosa (FREIRE, 2009, p. 15).

Assim, o modelo de ensino híbrido consiste, sem grandes pormenores, em unir e mesclar atividades presenciais com atividades *on-line* de aprendizagem, bem como, atividades individuais e coletivas. Com o professor se comunicando de forma direta e presencial com seus alunos, contudo, também, comunicando-se virtualmente com as tecnologias móveis e equilibrando a interação com todos e com cada um (BACICH; MORAN, 2015, p.39). Integrando, dessa forma, os novos conhecimentos e metodologias educacionais aos conhecimentos e metodologias educacionais tradicionais, e utilizando as tecnologias digitais a partir do ensino híbrido, de modo a auxiliar o desenvolvimento do processo ensino-aprendizagem e ajudar no desenvolvimento de sujeitos autônomos.

Figura 14 –modelo tradicional vs modelo invertido

|                        | SALA DE AULA                                                                                                                                                                                                                | CASA E OUTROS                                                                                                                            |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MODELO TRADICIONAL     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transmissão de informação</li> <li>- Transmissão de conhecimento</li> <li>- Resolução de exemplos</li> <li>- Professor palestrante</li> <li>- <b>Estudante passivo</b></li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exercícios</li> <li>- Projetos</li> <li>- Trabalhos</li> <li>- Soluções de problemas</li> </ul> |
| SALA DE AULA INVERTIDA | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Atividades de simulação</li> <li>- Atividades de projeto</li> <li>- Trabalhos em grupo</li> <li>- Debates</li> <li>- Professor mentor</li> <li>- <b>Estudante ativo</b></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Leituras</li> <li>- Vídeos</li> <li>- Pesquisas</li> <li>- Resolução de exemplos</li> </ul>     |

Fonte: Adaptado de Scheneiders (2018).

Fonte: Adaptado de Scheneiders (2018).

A partir da perspectiva de uma educação híbrida, tanto o modelo presencial quanto o modelo virtual, cada um de acordo com o tempo histórico do seu surgimento, passam a ser compreendidos como diferentes e legítimas formas de ensinar. Segundo Bacich e Moran,

O que a tecnologia traz hoje é a integração de todos os espaços e tempos. O ensinar e o aprender acontecem em uma interligação simbiótica, profunda e constante entre os chamados mundo físico e digital. Não são dois mundos ou espaços, mas um espaço estendido, uma sala de aula ampliada, que mescla, hibridiza constantemente. Por isso, a educação formal é cada vez mais blended, misturada, híbrida, porque não acontece só no espaço físico da sala de aula, mas nos múltiplos espaços do cotidiano, que incluem os digitais (BACICH; MORAN, 2015 p. 39).

Pensar educação atualmente nos obriga a repensar os modelos educacionais e práticas pedagógicas para que seja possível acompanhar as transformações técnico-científicas do mundo do trabalho, portanto, neste cenário de um mundo digital em expansão, não podemos ignorar o uso das TICs no processo pedagógico e sistemas educacionais. Não podemos perder de vista que a “utilização das novas TICs no âmbito da didática, como recurso complementar de outros, sobretudo com

base no paradigma construtivista, inclui hoje o uso da internet” (GASTARDELLI, 2017, p. 263). O que, convenhamos, nos possibilita alguns ganhos, como por exemplo, facilitando o acesso a fontes; contribuindo para o desenvolvimento do espírito crítico; auxiliando na construção de conceitos; propiciando a transdisciplinaridade; ampliando o sentido de cooperação e autonomia dos estudantes, dentre outras vantagens (GASTARDELLI, 2017, p.263).

As práticas pedagógicas e sistemas educacionais devem “cumprir o papel da justiça social, de acompanhamento das transformações técnico-científicas do mundo do trabalho” (FRIGOTTO, 2005, p.43), preparando o aluno para entender o seu lugar no mundo, refletindo, por exemplo, acerca das relações socioeconômicas, bem como a historicidade destas relações.

Esta vinculação entre educação e o mundo do trabalho, que nos referimos, se pode se dá tanto por meio do aperfeiçoamento profissional quanto por uma especialização em uma universidade, faz-se necessário uma organização consciente dos processos culturais, que possibilitem a discussão de situações que afetem a sociedade. Segundo SAVIANI,

É necessário, pois, que eles disponham de organizações culturais por meio das quais possam participar, em igualdade de condições com os estudantes universitários, da discussão, em nível superior, dos problemas que afetam toda a sociedade e, portanto, dizem respeito aos interesses de cada cidadão. Com isso, além de propiciar o clima estimulante imprescindível à continuidade do desenvolvimento cultural e da atividade intelectual dos trabalhadores, tal mecanismo funciona como um espaço de articulação entre os trabalhadores e os estudantes universitários, criando a atmosfera indispensável para vincular de forma indissociável o trabalho intelectual e o trabalho material (SAVIANI, 2007, p. 161).

Esse espaço articulado entre trabalhadores e alunos é de extrema importância para que se torne possível uma atmosfera indissociável entre conhecimentos e o mundo do trabalho, tendo como perspectiva se evitar a passividade intelectual (Cf. SAVIANI, 2007).

Faz-se necessário, então, numa perspectiva de ensino híbrido, ratificar a relevância do uso das metodologias ativas e das tecnologias (FRIGOTTO, 2005). Tecnologia compreendida neste produto educacional como “um conceito que abrange meios, processos e ideias, além de ferramentas e máquinas, isto é, refere-

se tanto aos meios como às atividades pelas quais os homens e as mulheres modificam ou manipulam seu ambiente” (MOLL, 2010, p.97).

As práticas pedagógicas e sistemas educacionais devem buscar se articular ao mundo do trabalho, da cultura e da ciência, desta forma, “constitui-se em direito social e subjetivo e, portanto, vinculado a todas as esferas e dimensões da vida” (FRIGOTTO; CIAVATTA; RAMOS, 2015, p.12). E, não se pode articular a educação ao mundo do trabalho, cultura e ciência sem que se promova inserção no mundo digital a partir de novas práticas pedagógicas, como por exemplo, a partir da concepção de ensino híbrido. Isto é, usar as metodologias ativas de aprendizagem, em especial as metodologias utilizadas a partir do ensino híbrido, para proporcionar e facilitar o processo de ensino-aprendizagem e o desenvolvimento dos alunos enquanto indivíduos críticos, capazes de se reconhecerem como tal, se inserirem e se reconhecerem inseridos neste nosso mundo digital, contribuindo com formação para o mundo do trabalho, mas, enquanto princípio ético e político.

Logo, precisamos levar em consideração que a integração das tecnologias digitais de informação e comunicação (TICs), “precisam se dar de maneira criativa, crítica e que possa ser usada no seu potencial, oportunizando para os alunos um ensino mais personalizado e colaborativo” (BACICH; MORAN, 2015, p.12). Segundo Bacich e Moran,

A tecnologia em rede móvel e as competências digitais são componentes fundamentais de uma educação plena. Um aluno não conectado e sem domínio digital perde importantes chances de se informar, de acessar materiais muito ricos disponíveis, de se comunicar, de se tornar visível para os demais, de publicar suas ideias e de aumentar a sua empregabilidade futura (BACICH; MORAN, 2015p.11).

Na proposta de educação híbrida, o ensino presencial e à distância (virtual) podem e devem coexistir, devem “andar de mãos dadas”. Cada vez mais os alunos estão demandando modelos de aprendizagem diversificadas, com mais interatividade e mobilidade, visto que, a forma tradicional de ensino presencial não mais corresponde integralmente às demandas e desafios da nossa realidade concreta de avanços tecnológicos e mundo digital. O ensino híbrido apresenta-se então enquanto uma metodologia alternativa, na qual, os alunos podem aprender a partir de novas ferramentas e documentos multimídia disponíveis virtualmente, com

a segurança pedagógica e profissional de ter regularmente o professor na sala de aula presencial, bem como, contar com seu direcionamento e planejamento para acessar informações seguras no mundo digital, tendo acesso virtual a inúmeros recursos digitais ou digitalizados, como: textos, imagens, vídeos, correio eletrônico, *links* para fontes externas de informações, áudio e/ou videoconferência, possibilidade de criação de fóruns etc. (BRANDÃO, 2021).

Desta forma, os alunos podem acessar as informações e ferramentas mencionadas a qualquer momento e o quanto quiserem; por exemplo, buscando informações adicionais *online*, enviando perguntas etc. O ensino híbrido possibilita um formato de ensino-aprendizagem que desenvolve e potencializa a capacidade de pesquisar e selecionar informações, maximizando a autonomia e aguçando o espírito crítico deles. Na sala de aula presencial com o professor e os colegas, o aluno explora o que aprendeu individualmente, podendo fazer uso tanto da prática laboratorial quanto do trabalho colaborativo, por exemplo. Neste sentido, com ensino híbrido, a sala de aula presencial passa a ser um espaço de relacionamento com os outros, que é uma dimensão importantíssima do processo de ensino-aprendizagem (BRANDÃO, 2021).

## **2. Sala de Aula Invertida aplicando o PBL**

A resignificação dos processos pedagógicos na Educação Superior é uma necessidade premente atualmente. A concepção tradicional de ensino, que relega o aluno ao papel passivo de mero espectador, não é mais aceitável. Nesse sentido, as metodologias ativas ganham destaque, buscando promover uma aprendizagem prática e profissional destes discentes. Fiorini, Almeida, Lazaretti e Forno (2022) exploram como as práticas e ferramentas do modelo de aprendizagem denominado por Ensino Híbrido, a partir de um planejamento de uma sequência de aulas que segue a abordagem bem diferente das aulas tradicionais<sup>1</sup>, demonstrando que a

---

<sup>1</sup> No método tradicional de ensino, o educador é considerado figura central e único detentor do conhecimento. Este, por sua vez, é repassado aos estudantes em aulas expositivas. Nesse modelo, o estudante é reduzido a espectador em sala de aula. A ele, cabe apenas memorizar e reproduzir os saberes. Esse método é mais conteudista, focado em fornecimento de informações. E, muitas vezes,

proposta de sala de aula invertida (uma das formas de Ensino Híbrido), aplicando a Aprendizagem Baseada em Problemas (em inglês, Problem-Based Learning - PBL) junto a proposta de Orientação por meio de Projetos (OMP) como práticas e ferramentas de GC (Gestão do Conhecimento), pode ser uma proposta pedagógica que permite que ocorra ciclo da GC entre alunos e professores, tanto no modo presencial quanto no virtual.

Em nosso caso, nesta pesquisa, como já dito anteriormente, apresentaremos como produto uma Sequência Didática que demonstraremos mais adiante, na qual aplicaremos modelo educacional de Ensino Híbrido a partir do formato de Sala de Aula Invertida aplicando o PBL para o Ensino de física, mais especificamente, demonstrando e desenvolvendo, em uma aula de óptica no Ensino Médio, uma Pirâmide Holográfica. Assim, muito nos serviu de parâmetro a sequência didática dos autores agora a pouco mencionados, no entanto, reduziremos tal experiência a somente duas ferramentas, melhor, metodologias ativas de aprendizagem, a saber, a Sala de Aula Invertida e PBL. Conforme Araújo,

O modelo de sequência didática está associado às pesquisas sobre a aquisição da língua escrita através de um trabalho sistemático com gêneros textuais desenvolvidas pelo grupo de Genebra. De modo simples e numa resposta direta, sequência didática (doravante SD) é um modo de o professor organizar as atividades de ensino em função de núcleos temáticos e procedimentais. Para Dolz, Noverraz e Schneuwly (2004, p. 97), expoentes desse grupo de pesquisa sobre a relação entre linguagem, interação e sociedade, e cujas publicações no Brasil tornaram esse conceito conhecido, “sequência didática é um conjunto de atividades escolares organizadas, de maneira sistemática, em torno de um gênero textual oral ou escrito (2013, p. 322).

Trata-se, numa sequência didática, de uma estratégia de ensino a qual visa organizar e planejar uma série de atividades sequenciais com o objetivo de atingir determinados objetivos de aprendizagem. Nossa Sequência Didática, tal como será demonstrada, foi projetada de forma a proporcionar uma progressão lógica no

---

não são mostradas aplicações práticas daquilo que está sendo ensinado. Em geral, essa metodologia adota testes e provas padronizadas. Além disso, as diferenças individuais não são levadas em conta. Essa concepção tradicional de ensino é chamada de “educação bancária” por Paulo Freire (1996) e de “paradigma instrucionista” por Pedro Demo (1995). Alguns estudos também se referem a esse método como uma educação colonizadora.

desenvolvimento do conhecimento, habilidades e competências dos alunos, especialmente na perspectiva de aulas de física. Isto será possível, pois, em nossa Sequência Didática, partiremos de um modelo amplamente pesquisado e profundamente experienciado mundo a fora, estamos a falar do Ensino Híbrido (BRANDÃO, 2021), tal como descrevemos anteriormente. A ferramenta que utilizaremos deste modelo de educação será a Sala de Aula Invertida, mas não somente; aplicaremos a este modelo o PBL, tal como demonstraremos em nossa experiência em aula de física acerca da Pirâmide Holográfica, que será produzida e utilizada junto aos alunos do Ensino Médio seguindo a proposta aqui mencionada.

Nossa Sequência Didática envolve várias etapas, dentre elas: introdução do tema; exploração e aprofundamento do conteúdo; prática de habilidades; aplicação em contextos diversos; avaliação do aprendizado. Logo, percebe-se que nela pode ser incluída uma variedade de métodos de ensino, como exposição oral, leitura, discussão em grupo, atividades práticas, uso de recursos multimídia, entre outros. No entanto, utilizaremos a proposta defendida por Hugo Brandão (2021), que leva em consideração não somente a inclusão de novas tecnologias e estratégias que unam o ensino presencial ao ensino virtual, todavia, que considera, também, as questões sociopolíticas de nosso país, bem como a situação socioafetiva dos discentes, questões econômicas, geográficas, históricas, dentre outras, são levadas em conta pelo pesquisador em questão. Assim pretendemos aplicar nossa pesquisa, tendo como metodologia um olhar amplo e mais aprofundado da realidade vivenciada por nossos alunos e professores. Objetivando que a partir de nossa Sequência Didática possamos promover uma aprendizagem significativa e vigorosa, como já dito, faço questão de reforçar, considerando as características e necessidades dos alunos, bem como os objetivos educacionais propostos (BRANDÃO, 2021). Além de nos apoiarmos em Antoni Zabala (1998) para fundamentar nossa compreensão de Sequência didática e embasar nossa experiência. Nossa metodologia será fundamentada nesses dois autores.

Assim, com o objetivo de explorar a proposta da Sequência Didática e suas definições, com foco na perspectiva dos teóricos mencionados anteriormente, nos fundamentaremos em Zabala (1998), já que esse autor argumenta que toda prática pedagógica exige uma estruturação metodológica prévia à sua implementação.

Seguindo esse raciocínio, antes de elaborar uma sequência didática ou uma série de atividades, o professor deve considerar duas questões essenciais que fundamentam a prática educativa: "Por que educar? Por que ensinar?" A partir dessas indagações, avança-se em direção à organização de uma prática pedagógica reflexiva (ZABALA, 1998, p. 21).

Dessa forma, o conceito de sequência didática ou atividades didáticas é delineado como "um conjunto de atividades organizadas, estruturadas e interligadas com o propósito de atingir determinados objetivos educacionais, possuindo um início e um fim definido tanto pelos professores quanto pelos alunos" (ZABALA, 1998, p. 18). Este conceito não faz distinção entre sequência didática e sequência de atividades, mas ressalta alguns critérios para sua elaboração, execução e avaliação, abrangendo três etapas de intervenção reflexiva, conhecidas como: planejamento, implementação e avaliação. Além disso, o autor detalha as quatro etapas de implementação de uma sequência didática, que são: introdução da lição, estudo individual do conteúdo, revisão do conteúdo treinado e avaliação pelo professor (Zabala, 1998, p. 55). Ao abordar as fases de uma sequência de atividades, o autor enfatiza que o objetivo primordial dessa abordagem pedagógica é:

[...] introduzir nas diferentes formas de intervenção aquelas atividades que possibilitem uma melhora de nossa atuação nas aulas, como resultado de um conhecimento mais profundo das variáveis que intervêm e do papel que cada uma delas tem no processo de aprendizagem dos meninos e meninas. (ZABALA, 1998, p.54).

Nessa abordagem, ao elaborar uma sequência didática, é crucial considerar também os diálogos e interações entre professor e aluno, assim como entre os próprios alunos. Deve-se observar as influências dos temas ou conteúdos nessas interações, bem como o papel de todos os envolvidos no desenvolvimento das atividades, na organização dos conteúdos, na gestão do tempo e espaço, na seleção de recursos didáticos e na avaliação. Tudo isso requer um planejamento e organização meticolosos para garantir o sucesso na execução das atividades. A sequência didática é equiparada a um minicurso. O autor defende essa metodologia de ensino, argumentando que "a aprendizagem por meio de unidades atende às necessidades dos estudantes de maneira mais efetiva" (CASTRO, 1976, p. 55).

No entanto, é importante notar que esse ponto de vista é frequentemente questionado devido à divisão do corpo do conhecimento em várias partes, o que pode levar à fragmentação de temas e conteúdo. Contudo, há a reafirmação de que as unidades didáticas “apesar de que seguidamente se apresentem em classe de modo separado, têm mais potencialidade de uso e de compreensão quanto mais relacionados estejam entre si” (ZABALA, 1998, p. 139).

Nessa perspectiva, é essencial que o professor promova a interligação dos conteúdos e a integração dos conhecimentos fragmentados de maneira mais coesa, de modo que “integrem conteúdos teoricamente isolados ou específicos para incrementar seu valor formativo”. (ZABALA, 1998, p.139).

Desta forma, vale salientar que a metodologia empregada é de natureza aplicada, com uma abordagem qualitativa, envolvendo pesquisa bibliográfica exploratória e estudo de caso. Assim como na pesquisa a qual nos referimos, realizaremos coletas de dados por meio de análise documental dos registros das aulas que seguirão a sequência didática apontada anteriormente, produto desta pesquisa. Destaco esta questão para enfatizar o resultado da análise desta pesquisa, notadamente: “A análise de conteúdo permitiu verificar quais são as facilidades e dificuldades em aplicar o planejamento de aulas proposto” (FIORINI; ALMEIDA; LAZARETTI; FORNO, 2022, p. 1), demonstrando que a proposta de sala de aula invertida, aliada ao PBL, pode ser uma abordagem pedagógica eficaz que promove qualidade no ensino-aprendizagem e na relação entre alunos e professores, tanto no ambiente presencial quanto no virtual – condição necessária para o desenvolvimento do modelo de Ensino Híbrido.

Vejamos na figura a seguir o que Schmitz (2016) afirma ser os pilares da aprendizagem invertida:

Figura 15 – Pilares da Aprendizagem Invertida.

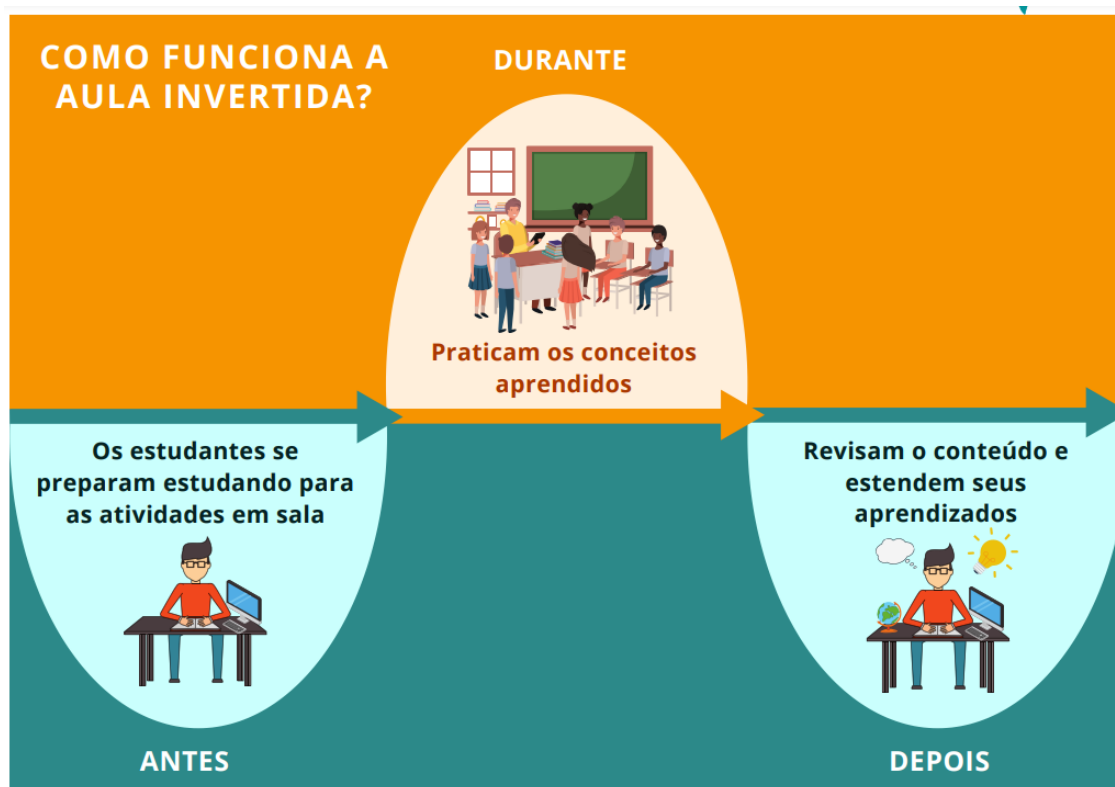
### PILARES DA APRENDIZAGEM INVERTIDA

| <b>F</b><br><b>FLEXIVE<br/>ENVIRONMENT</b>                                                                                                                                                                 | <b>L</b><br><b>LEARNING<br/>CULTURE</b>                                                                                                                                                                         | <b>I</b><br><b>INTERNATIONAL<br/>CONTENT</b>                                                                                                                                                                                        | <b>P</b><br><b>PROFESSIONAL<br/>EDUCATOR</b>                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ambiente Flexível</b><br><br>Criar espaços flexíveis nos quais os estudantes escolhem quando e onde aprendem. Flexibilizar a sequência de aprendizagem de cada estudante e a avaliação da aprendizagem. | <b>Cultura de Aprendizagem</b><br><br>No modelo tradicional, a fonte principal de informação é centrada no professor. Na abordagem invertida a responsabilidade da instrução passa a ser centrada no estudante. | <b>Conteúdo Dirigido</b><br><br>Educadores pensam em como usar o modelo <i>Flipped</i> para ajudar estudantes na compreensão conceitual e determinam o que precisam ensinar e quais materiais eles devem acessar por conta própria. | <b>Educador Profissional</b><br><br>É mais exigente e é continuamente demandado, fornecendo <i>feedback</i> imediato em aula, avaliando o trabalho. Conecta-se com outros facilitadores, aceita críticas e tolera o caos controlado em aula. |

Fonte: Adaptado de Schmitz (2016)

A Sala de Aula Invertida ocorre em um ciclo de três momentos: antes, durante e depois da aula. Cada momento necessita que o professor e os estudantes assumam suas respectivas funções para o bom desenvolvimento das atividades. Veja, a seguir, como funciona a aula invertida, por meio de um infográfico:

Figura 16 – Infográfico de sala de aula invertida.



Fonte: EdTech Adaptado (2020).

No contexto atual da Educação, observa-se uma clara tendência de transformação nos processos de ensino envolver os alunos e identificar seus interesses. Essa transformação exige que a aprendizagem do aluno esteja intrinsecamente ligada à sua motivação, interesses e envolvimento (REIS; PENA, 2020). No entanto, isso representa um desafio para os professores, pois é comum encontrar um certo nível de desmotivação entre os alunos em relação ao processo de ensino-aprendizagem, perceptível em todas as fases da educação, no entanto, neste trabalho, focaremos no Ensino Médio, o qual vive a mesma realidade que as outras fases, mas, penso que de forma ainda mais aprofundada por se tratar de adolescentes e ser fase de transição para o Ensino Superior. Nesta fase escolar, mais do que qualquer outra, torna-se imprescindível pensarmos em transformações e é nela que mais adequadamente se possa refletir e executar uma Educação Híbrida a partir do formato de Sala de Aula Invertida aplicando o PBL.

Segundo Behrens (2015), essa situação decorre da falta de práticas que fortalecem a formação profissional dos alunos. Assim, é necessário adotar

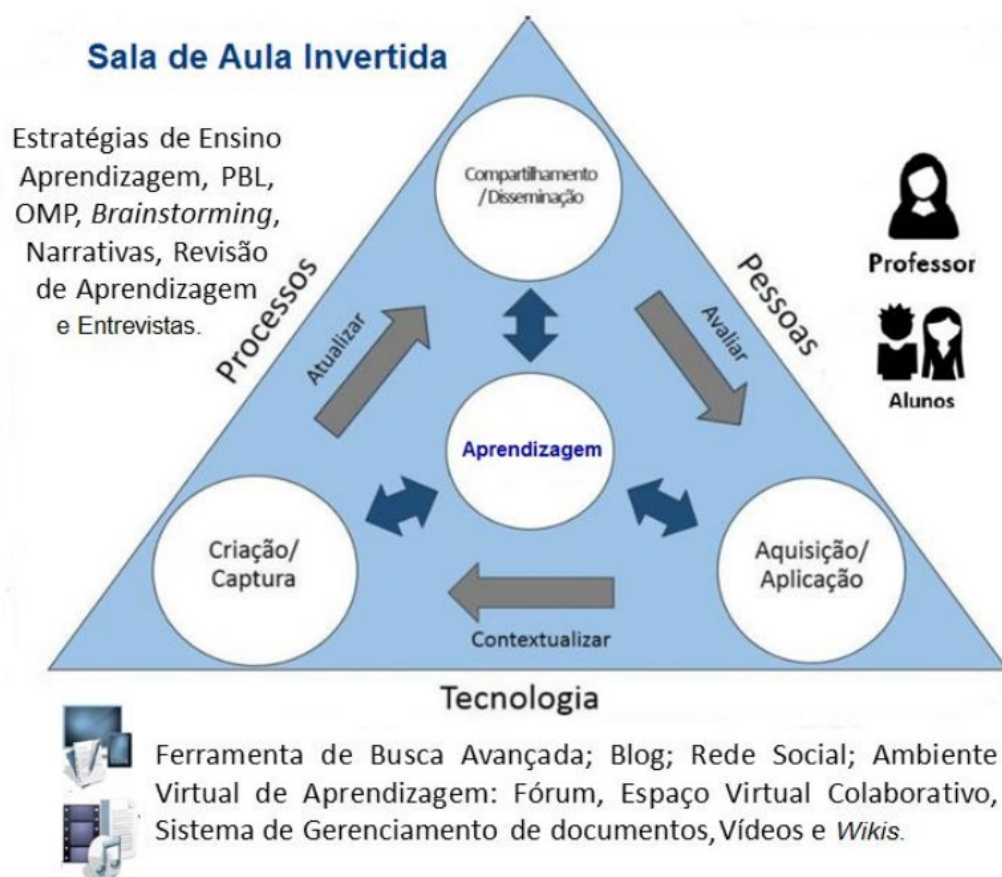
abordagens pedagógicas que permitam a discussão e a problematização da realidade vivenciada pelos alunos, incentivando a reflexão e promovendo maior criatividade e senso crítico. São diversas as atividades que exemplificam propostas de aplicação de metodologias ativas, como aprendizagem entre pares, discussão em grupo, estudos de caso, sala de aula invertida, aprendizagem colaborativa, aprendizagem baseada em problemas, aprendizagem baseada em equipe, ensino baseado em projeto, entre outras (Marin et al., 2010).

Nesta nossa pesquisa, assentados numa perspectiva pensada através da metodologia da Sala de Aula Invertida, tal como defendida por Bergmann e Sams (2016), a qual nos apropriamos academicamente para fundamentarmos nosso entendimento acerca da ferramenta do Ensino Híbrido denominada por sala de aula invertida, tal como já mencionamos tanto no decorrer deste trabalho. Eles defendem uma inversão do modelo tradicional de ensino, tornando as aulas menos expositivas e mais produtivas, colaborativas e participativas (BERGMANN; SAMS, 2016).

A metodologia de pesquisa reporta-se à natureza aplicada, utilizando-se de pesquisa exploratória, pesquisa explicativa de cunho qualitativo e Pesquisa-Ação Participativa, e utilizando-se de um recorte específico sobre a Sala de Aula Invertida e métodos de aplicação de PBL [...] A metodologia científica é de natureza aplicada com abordagem qualitativa [...] sendo realizada pesquisa bibliográfica exploratória e estudo de caso (FIORINI; ALMEIDA; LAZARETTI; FORNO, 2022, p. 4).

Destacamos ainda que essa metodologia da Sala de Aula Invertida é objeto de vários estudiosos da Educação por todo o mundo, tais como: Strayer (2007), Schneider, Suhr, Rolon e Almeida (2013), Munhoz (2015), Honório (2016) e Suhr (2016). Strayer (2007) define a Sala de Aula Invertida como uma estrutura inovadora na qual as aulas expositivas ocorrem fora do ambiente presencial, utilizando tecnologias, enquanto as atividades práticas e de aprendizagem são realizadas em sala de aula. Schneider et al. (2013), por sua vez, argumentam que essa proposta pedagógica tem bases teóricas na Taxonomia dos Objetivos Educacionais de Bloom, elaborada pelo psicólogo norte-americano em 1956. Enfim, trata-se de uma ilustração de vários autores que discutem o tema, demonstrando assim a importância de tal temática e relevância em executarmos em nossas salas de aulas para verificar sua eficácia, tal como testaremos e discorreremos sobre mais adiante (FIORINI; ALMEIDA; LAZARETTI; FORNO, 2022, p. 44).

Figura 17 – Sala de aula Invertida vs gestão do conhecimento.



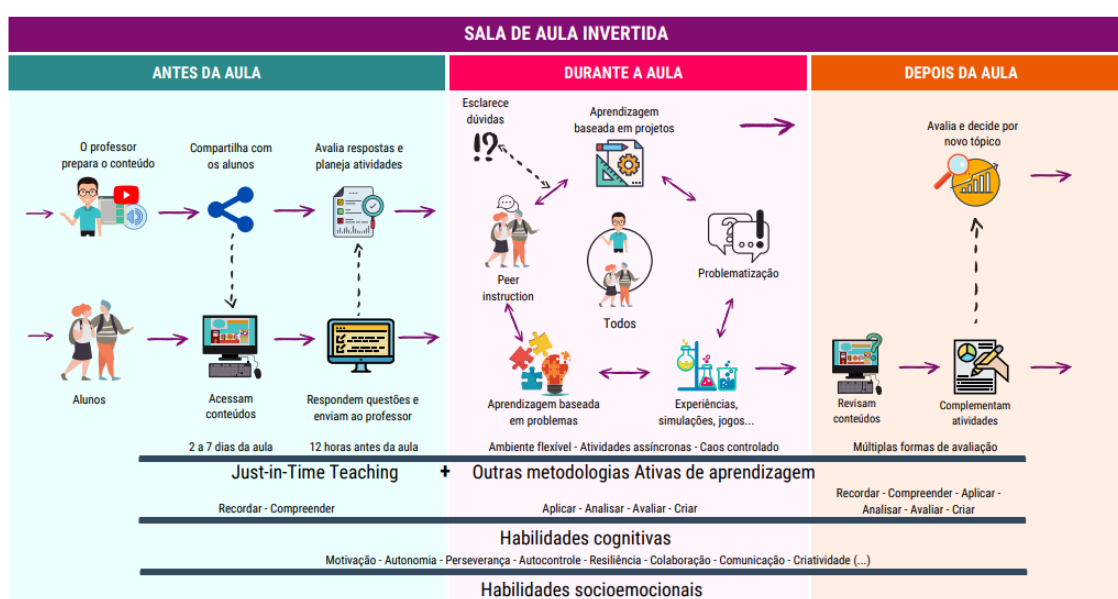
Fonte: Fiorini (2019,p. 103).

Podemos pensar a Sala de Aula Invertida como uma metodologia que visa inverter, logicamente, o ciclo de aquisição de conteúdo e sua aplicação, possibilitando que os discentes possam ter acesso prévio ao conhecimento essencial antes mesmo das aulas presenciais e de qualquer explanação do docente. Esse acesso antecipado pode ocorrer através de um ambiente virtual de aprendizagem ou disponibilização de materiais de leitura no plano de aula. Percebam que passa a permitir que, mesmo que seja durante as aulas presenciais, os discentes possam explicar junto ao docente os conteúdos aprendidos, acarretando uma dinâmica e ativa interação e, portanto, desenvolvendo e aplicando

o conhecimento construído previamente (MUNHOZ, 2015). Desta forma, apresentamos e defendemos nesta pesquisa que a Sala de Aula Invertida não apenas reorganiza a estrutura do processo de aprendizagem, mas, também, ela redefine os papéis de alunos e professores (HONÓRIO, 2016).

A seguir, você confere o detalhamento dos três momentos apresentados da Sala de Aula Invertida por meio de um infográfico:

Figura 18 – Sala de aula invertida.



Fonte: Adaptado de Schmitz (2016).

Devido à natureza dessa estratégia de ensino, que se afasta do modelo tradicional, a Sala de Aula Invertida concentra-se no envolvimento e na autonomia dos alunos, que assumem a responsabilidade de se envolverem previamente com seu próprio processo de aprendizagem, sem depender exclusivamente de protocolos informativos ou aulas expositivas ministradas pelo professor. Destarte, a Sala de Aula Invertida é uma maneira de organizar sequências de atividades externas para a resolução de problemas, preferencialmente em grupos (SUHR, 2016). Segundo Lima,

A Sequência Didática é uma metodologia de ensino que surgiu a partir dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e tem tido aceitação por docentes de várias disciplinas da Escola Regular. A Sequência Didática é

conjunto de atividades, estratégias e intervenções planejadas etapa por etapa pelo docente para que o entendimento do conteúdo ou tema proposto seja alcançado pelos discentes. É uma pesquisa de caráter bibliográfico e de campo que tem como objetivos: discutir este procedimento didático como forma de direcionar a aprendizagem de Física, valorizar as informações trazidas pelos alunos e de autores diversos na pesquisa, estimulando a aprendizagem dos alunos através dos procedimentos didáticos usados numa sequência didática. Concluiu-se que a Sequência Didática é uma metodologia que aguça a investigação científica, valoriza a aprendizagem vivenciada pelos alunos nas diversas modalidades de estratégias didáticas apresentadas (2018, p. 151).

Dentro do panorama das metodologias ativas e estratégias de ensino inovadoras, como as salas de aula invertidas, propostas como a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), são reconhecidas como recursos valiosos para orientar o planejamento das aulas. O PBL, desenvolvido por Howard Barrows<sup>2</sup> em 1969, inicialmente concebido para o ensino em cursos de Medicina, agora é aplicado em diversos contextos educacionais, desde a Educação Básica até o Ensino Superior. Trata-se de uma metodologia colaborativa, construtivista e contextualizada, o PBL utiliza situações-problema para iniciar, direcionar e motivar a aprendizagem de conceitos, teorias e o desenvolvimento de habilidades e atitudes em sala de aula (RIBEIRO, 2010). O PBL enfatiza a compreensão ativa, autônoma e colaborativa do conhecimento pelos alunos, não apenas como aquisição de informações, mas como produção e construção de conhecimento (ALARCÃO; TAVARES, 2013).

Precisamos compreender que o PBL valoriza os conhecimentos prévios dos alunos e promove a motivação quando os alunos se envolvem na resolução de problemas propostos pelo professor, incentivando a reflexão e a participação ativa deles, passa a ser parte integrante, mas não somente participativa, e sim, também, construtiva do processo de aprendizagem (FARIAS; MARTINS; CRISTO, 2015). Por isso que podemos constatar um crescimento enorme de interesse acerca do PBL.

---

<sup>2</sup> Howard Barrows (1929-2017) foi um médico e educador canadense, considerado o pai do Aprendizado Baseado em Problemas (PBL). Ele era professor de medicina na Universidade McMaster no Canadá, onde, na década de 1960, começou a desenvolver e implementar o PBL como uma alternativa ao ensino médico tradicional. Com formação em neurologia, Barrows ficou famoso por suas contribuições para a educação médica, especialmente no desenvolvimento e promoção da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL). Ele foi pioneiro na implementação dessa abordagem enquanto lecionava na McMasterUniversity Medical School.

Essa atual expansão na metodologia do PBL surge da necessidade de superar a dicotomia entre a formação acadêmica e a prática profissional, desenvolvendo métodos de memorização e transferência de conhecimento unidirecional por uma abordagem centrada na autoaprendizagem (GOMES; BRITO; VARELA, 2016).

Para o desenvolvimento de projetos a partir dos modelos de sala de aula invertida aplicando o PBL, o docente pode explorar com os alunos diversos tipos de conhecimentos, incluindo procedimentos e estratégias de resolução de problemas, conceitos disciplinares e estratégias de aprendizagem. Trata-se de uma aprendizagem por meio de projetos, com atividades orientadas para envolver o discente em seu próprio processo de aprendizagem, transcende a mera execução mecânica de tarefas, possibilitando novas descobertas e uma interação mais significativa entre alunos e professores por meio da resolução de tarefas problemas. Pesquisas acadêmicas têm proposto a aplicação de metodologias ativas, como a sala de aula invertida e o PBL (Aprendizagem Baseada em Problemas), ressaltando a importância de adquirir e construir conhecimento funcional e significativo para a prática profissional (VALENTE; ALMEIDA; GERALDINE, 2017). Precisamos evidenciar que com a associação de práticas e ferramentas de metodologias ativas, demonstrando como elas podem contribuir para o engajamento nos processos de ensino e aprendizagem, promovemos a aquisição de conhecimento funcional e prático (ALARCON, 2015).

Nesta pesquisa, queremos destacar a conexão entre o conhecimento e seus detentores, contribuindo para a interação entre os usuários e membros da organização, que neste estudo relaciona-se ao professor e ao aluno, respectivamente, presentes em sala de aula e representantes de uma instituição educacional (DAVILA; FRAGA; DIANA; SPANHOL, 2015). As práticas e ferramentas das metodologias ativas podem e devem ser interpretadas como estratégias de implementação que possibilitam a captura e reutilização de conhecimento estruturado; o compartilhamento de lições aprendidas; a identificação de fontes e redes de expertise; a organização e mapeamento de conhecimentos necessários; a mediação e controle do valor econômico do conhecimento; a síntese e o compartilhamento de informações provenientes de fontes externas (BATISTA, 2004). Isso se repercute na vinculação de uso e aplicação de estratégias e métodos de

ensino, por parte do professor, que possibilitem ao aluno identificar, analisar e aplicar conteúdos teóricos em perspectiva prática ao ser inserido nas propostas de metodologias inovadoras (Dal Forno, 2019).

Tem-se que o processo de aprendizagem já não fica associado a aulas expositivas do professor, mas sim com uma gestão da aprendizagem, o que, de acordo com Salvador (1994) e com Cosenza e Guerra (2015), refere-se às habilidades e capacidades do aluno em validar seu conhecimento e seu significado para a sua realidade, para a sua atuação e para a aplicação. Entende-se que a aquisição e a aplicação do conhecimento são tarefas do aluno por meio da gestão da sua aprendizagem (FIORINI; ALMEIDA; LAZARETTI; FORNO, 2022, p. 4).

Nesta nossa pesquisa, em virtude do Modelo educacional de Ensino Híbrido a partir do formato de Sala de Aula Invertida aplicando o PBL, ressaltamos a conexão entre professores e alunos, respectivamente presentes no ambiente educacional. As práticas e ferramentas das metodologias ativas precisam ser compreendidas como estratégias de implementação urgente que permitem a captura e reutilização de conhecimento estruturado, o compartilhamento de lições aprendidas, a identificação de fontes e redes de expertise, a organização e mapeamento de conhecimentos necessários, a mediação e controle do valor econômico do conhecimento, bem como a síntese e compartilhamento de informações provenientes de fontes externas. Isso se reflete na aplicação de estratégias e métodos de ensino pelo docente, evoluindo para capacitar o discente a identificar, analisar e aplicar conteúdos teóricos em perspectiva prática dentro de propostas de metodologias inovadoras. Observe-se que o processo de aprendizagem não se limita mais às aulas expositivas do professor, mas sim à gestão da aprendizagem, que envolve as habilidades e capacidades do aluno em validar o conhecimento e sua aplicação em sua realidade, atuação e contexto. Portanto, a aquisição e aplicação do conhecimento são responsabilidades do aluno por meio da gestão de sua própria aprendizagem.

A intrínseca relação entre a sala de aula invertida e o PBL, possibilita trilharmos um caminho de aprendizado profundo e transformador, em virtude das transformações na educação tradicional que decorreriam da aplicação desses dois modos de educação que promove estratégias ativas de ensino-aprendizagem. Isso se dá em um momento ímpar, uma vez que o panorama educacional contemporâneo

anseia por metodologias que transcendam a mera assimilação passiva de conteúdo. Sendo assim, a sala de aula invertida e o Aprendizado Baseado em Problemas (PBL) surgem como importantes ferramentas para a construção de uma experiência de aprendizado profunda, engajadora e significativa, como descrevemos anteriormente, a sala de aula invertida veio ou virá para subverter a estrutura tradicional da aula, especialmente sob a égide do PBL, o qual será aplicado.

Trata-se de transformações visíveis no dia a dia das salas de aulas e no “fazer educação”, mudanças como: aprendizagem autônoma, os alunos assumem a responsabilidade pelo seu próprio aprendizado, explorando os conceitos básicos antes da aula através de recursos online, como vídeos, leituras e plataformas interativas; aplicação prática, na sala de aula, o foco central reside na aplicação prática dos conhecimentos pré-adquiridos. Os alunos se envolvem em atividades dinâmicas, debates construtivos e resolução de problemas desafiadores, consolidando o aprendizado de forma ativa e contextualizada. O PBL complementa essa abordagem, lançando os alunos em um universo de investigação e descoberta: autonomia e protagonismo, os discentes assumem o controle do seu próprio aprendizado, tornando-se agentes ativos na construção do conhecimento; engajamento e entusiasmo; pensamento crítico e criativo, os alunos são desafiados a analisar problemas de forma crítica, formular hipóteses e provocar soluções inovadoras, aprimorando suas habilidades de resolução de problemas e pensamento divergente; preparo para o futuro: As habilidades desenvolvidas através dessa combinação, como trabalho em equipe, comunicação eficaz, pesquisa e adaptabilidade, são indelévels para o sucesso no mercado de trabalho em constante transformação (CHEN; JANG, 2020)..

Como nesta pesquisa tratamos até aqui e apresentaremos mais adiante, enquanto resultado da aplicação dessa metodologia ativa de aprendizagem, discorreremos acerca do Modelo educacional denominado por Ensino Híbrido, a partir do formato de Sala de Aula Invertida, aplicando o PBL. Portanto, a junção dessas duas estratégias ativas de aprendizagem, como já nos referimos e destacamos anteriormente, nos lega um enorme avanço no processo de ensino-aprendizagem, como por exemplo: Aprendizagem Híbrida, os alunos podem assistir a um vídeo sobre um determinado conceito antes da aula, aprofundando seus

conhecimentos prévios. Na sala de aula, a aplicação prática desse conceito se dá através da resolução de um problema em grupo, promovendo a colaboração e o debate construtivo; Projetos PBL interativos: Os alunos podem trabalhar em um projeto PBL que envolva a pesquisa de um problema real em sua comunidade, culminando na criação de uma solução inovadora e contextualizada; Aprendizagem Profunda e Significativa, os alunos não apenas memorizam informações, mas as aplicam na prática, construindo uma compreensão mais holística e duradoura do conteúdo; Maior Retenção do conhecimento, a participação ativa e a aplicação prática dos conhecimentos contribuem para uma retenção mais eficaz da informação. Melhoria no Desempenho Acadêmico: Estudos comprovam que os alunos que utilizam essas metodologias tendem a apresentar um desempenho superior em avaliações e testes (CHEN; JANG, 2020).

Como veremos a seguir, em nossa Sequência Didática, na experiência prática que faremos em sala de aula uma Sequência Didática de agora em diante, neste capítulo que se inicia. Ministraremos aulas, em turmas do Ensino Médio, utilizando modelo educacional de Ensino Híbrido a partir do formato de Sala de Aula Invertida aplicando o PBL, em virtude de conseguirmos apresentar o resultado de tal produto (sequência didática) para colaborar com a evolução e progresso do ensino-aprendizagem, possibilitando mais uma ferramenta pedagógica de estratégias ativas no “fazer educação”. Como dito, experimentaremos nossa Sequência Didática em turmas do Ensino Médio na disciplina de física, mais especificamente, demonstrando e desenvolvendo, nas aulas de óptica, a construção e utilização de uma Pirâmide Holográfica.

Portanto, demonstraremos que as estratégias educacionais da Sala de Aula Invertida e o PBL se entrelaçam para criar uma experiência de aprendizado transformadora. Quando combinamos estratégias ativas de aprendizagem, os docentes podem fomentar a autonomia, o engajamento e o desenvolvimento de habilidades essenciais para o futuro dos discentes, preparando-os para os desafios e oportunidades do mundo em constante mudança. É essa possibilidade de mudança que buscamos alcançar com nossa Sequência Didática, que será norteadas pelos pressupostos teóricos defendidos por Brandão (2021) e Zabala (2018).

#### **4. EXPERIMENTO COM SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA AO ENSINO MÉDIO**

##### **1. Considerações acerca de experimentos didáticos e nossa Sequência Didática**

Sendo direto e objetivo, antes mesmo de tecer considerações acerca de quaisquer temas, vamos recordar o que tratamos anteriormente e deixar claro que nosso experimento, o qual será descrito a partir de agora, trata-se da aplicação de nossa Sequência Didática, como descrito anteriormente no decorrer deste trabalho, a qual se fundamenta no Ensino Híbrido, a partir da modelo de Sala de Aula Invertida, e a Metodologia Ativa de Aprendizagem denominada por PBL, isto é, trata-se de uma Sequência Didática que promove a interação de ambas as Metodologias Ativas de Aprendizagem, Sala de Aula Invertida e PBL no ensino de Física, sendo aplicado para alunos de turmas do Ensino Médio.

Enfatizamos que a realização de experimentos didáticos formativos tem ganhado significativa relevância na pesquisa em didática no Brasil, oferecendo novas possibilidades para a organização do ensino em diversas disciplinas escolares. É importante destacar essa experiência, que, juntamente com outras iniciativas no país, representa uma abordagem de pesquisa em didática focada na relação entre ensino-aprendizagem e desenvolvimento humano dos alunos. Essa relevância é justificada por várias razões. Uma delas é a presença de certa incerteza no campo da pesquisa pedagógica quanto à especificidade da pesquisa em didática, que às vezes é orientada pela psicologia ou pela sociologia (FREITAS; LIBÂNEO, 2022). O experimento didático formativo, neste trabalho a partir da aplicação de nossa Sequência Didática, permite investigar a atividade docente em conexão com a atividade discente, principiando buscar uma integração entre a investigação acadêmica e a prática de ensino dos professores através de pesquisa empírica, gerando conhecimento que alimenta o campo teórico da didática e das didáticas específicas, em nosso caso, especialmente a didática dos professores(as) da disciplina de Física ministrada nas turmas no Ensino Médio da educação básica no Brasil. Segundo Davydov,

A realização do experimento formativo pressupõe o planejamento e a modelação do conteúdo de novas formações psíquicas que estão sendo formadas, assim como os caminhos psicológicos e pedagógicos e os meios para formar aquelas novas formações. Na investigação dos caminhos para realizar este plano (modelo) no processo do trabalho da aprendizagem cognitiva com as crianças, pode-se estudar, simultaneamente, as condições e as leis da origem ou gênese das correspondentes novas formações psíquicas (DAVYDOV, 1988b, p. 52).

Davydov procurou validar empiricamente a teoria de Vygotsky sobre o papel fundamental do ensino no desenvolvimento psíquico dos alunos. Um de seus principais pressupostos era que as bases da consciência e do pensamento teórico são moldadas através da atividade de estudo realizada pelos alunos durante a educação escolar. A confirmação dessa hipótese demonstraria a importância da atividade de estudo na apropriação dos conhecimentos das disciplinas escolares e, conseqüentemente, no surgimento de novas formações psíquicas. Com isso, Davydov defendeu que os programas das disciplinas deveriam incluir não apenas os conhecimentos, mas também as capacidades lógicas e psicológicas relacionadas a esses conhecimentos, ou seja, aquelas que se espera que os alunos desenvolvam ao realizar ações durante a atividade de estudo. Para a formação dessas capacidades, é essencial que a estrutura do método de ensino possibilite orientar os alunos no movimento de ascensão do pensamento, do abstrato ao concreto, utilizando o conceito abstrato para analisar o objeto concreto, culminando na formação de um conceito teórico completo do objeto (DAVYDOV, 1988a).

Nesse processo, ao qual Davydov se refere, o pensamento do aluno começa com a análise de objetos inseridos em contextos reais, buscando descobrir suas leis e conceitos abstratos gerais. Esses conceitos são então aplicados na análise e interpretação do objeto em situações específicas e particulares, levando à sua compreensão em um contexto concreto. Com esse método de pensamento e ação, o aluno interage com o objeto durante a atividade de estudo, desenvolvendo um conhecimento de natureza teórica dialética. Portanto, para a implementação eficaz desse método de pensamento, a organização do ensino deve envolver os alunos em tarefas investigativas e de transformação material e/ou mental do objeto de estudo (HEDEGAARD, 2002b, 2008).

Portanto, compreendemos a pesquisa acerca do ensino-aprendizagem a partir da utilização microciclos de experimentos didáticos formativos que no contexto das

aulas proporciona análises que contribuem para a construção de uma didática fundamentada, tal qual defendemos no capítulo anterior, em Metodologia Ativas de Aprendizagem, a qual une a didática básica com as didáticas específicas e promove o avanço do conhecimento na área. Além disso, o experimento didático, o qual apresentaremos a seguir, articula os princípios de Vygotsky, Davydov e Hedegaard com as condições concretas da educação escolar no Brasil, incluindo as condições de vida dos alunos e o ambiente de trabalho dos professores, oferecendo uma contribuição valiosa para os pesquisadores em didática, enriquecendo suas próprias investigações, mas, sobretudo, oferecendo uma contribuição relevante para o ensino de Física, especialmente acerca de óptica.

O experimento didático formativo reflete a concepção do ensino desenvolvimental<sup>3</sup> e, por consequência, a lógica de organização e estruturação da atividade de estudo dos alunos. Por isso, é essencial considerar essa lógica com atenção. O principal objetivo do ensino é que o aluno desenvolva um pensamento teórico mediado pela ciência, sendo esse pensamento apresentado como conteúdo generalizado e abstrato, ou seja, na forma de conceitos. O pensamento teórico se forma através de ações mentais como abstração, generalização e formação de conceitos, o que permite aos alunos reconstruírem os processos investigativos utilizados por pesquisadores para chegar a conclusões científicas. Assim, na atividade planejada pelo professor, para que os alunos estabeleçam uma relação de conhecimento com o objeto de estudo, é necessário que eles reconstituam criativamente as ações mentais que possibilitaram a elaboração do conceito relacionado ao objeto. Esse processo se caracteriza por um movimento que vai da atividade coletiva para a individual, dos aspectos gerais do objeto para os particulares, através da ascensão do pensamento, do abstrato ao concreto

---

<sup>3</sup>Por ausência de tempo e por questão de prioridades, tal temática não será aprofundada em nossa pesquisa e fica como referencial para futuros estudos de quem porventura venha a ser leitor deste nosso trabalho. Contudo, para título de registro e facilitação do entendimento deste nosso escrito, destacamos que a metodologia de Ensino Desenvolvimental “tem-se como premissa que o conhecimento didático necessita avançar na direção de práticas pedagógicas para o enfrentamento das desigualdades sociais e escolares, o que requer pesquisas que aprofundem a análise didática do processo ensino-aprendizagem” (FREITAS; LIBÂNEO, 2022, p. 1).

(DAVÍDOV, 1988; DAVYDOV, 1982, 1988b, 1996).

Para concretizar a organização do ensino, Davydov (1988b) formulou a estrutura geral da atividade de estudo a ser empreendida pelos alunos, que se compõe das seguintes ações que foram parcialmente utilizadas em nosso experimento:

- 1ª. Transformação das condições da tarefa de estudo para observar a relação universal do objeto de estudo;
- 2ª. Modelação desta relação universal em forma objetivada, gráfica ou por meio de letras;
- 3ª. Transformação do modelo da relação universal para estudar suas propriedades em 'forma pura';
- 4ª. Solução de um sistema de tarefas particulares que podem ser resolvidas pelo método geral;
- 5ª. Análise do desempenho das ações precedentes;
- 6ª. Avaliação do nível de assimilação do método geral que resulta da solução da tarefa de estudo dada (DAVYDOV, 1988b, p. 29-30 tradução nossa).

Partimos do pressuposto que os alunos em nosso experimento precisam descobrir a universalidade do objeto, expressa em sua relação geral, universal e abstrata. Um problema é apresentado para que eles o investiguem e encontrem uma solução, o que exige que primeiro compreendam essa relação geral e abstrata. Essa relação, exposta nos resultados da investigação científica que originou o objeto, não será criada pelos alunos, mas sim descoberta e recriada por eles através da busca e investigação. Em seguida, eles devem identificar o vínculo dessa relação com outras, mais específicas. No processo de abstração, mediado por tarefas propostas pelo professor, os alunos internalizam o método geral de investigação do objeto, utilizado em uma determinada área científica. Dessa forma, eles vão se apropriando desses métodos gerais, passando a utilizá-los com autonomia de pensamento e de maneira criativa (DAVYDOV, 1982, 1988b).

Bem como, partimos também do pressuposto que os alunos, no processo de ensino-aprendizagem, tal como realizamos em nosso experimento com a aplicação de nossa Sequência Didática, constroem um modelo que represente a relação geral

e universal do objeto estudado. Usando esse modelo como referência, passam a identificar o movimento e as transições que ocorrem entre a relação universal e abstrata e as relações particulares e concretas do objeto, situando-o em um contexto real de vida. Esse processo cria as condições e os meios necessários para que os alunos formem o conceito teórico e o utilizem como um procedimento para análise, reflexão e compreensão do objeto (DAVYDOV, 1988a, 1988b; HEDEGAARD, 2007, 2008); utilizando o conceito como uma ferramenta para analisar o objeto em diversas situações concretas. Nessa perspectiva, o professor(a) vai gradualmente ajustando sua atuação para promover uma crescente autonomia dos alunos no estudo, na aprendizagem e na formação do conceito, envolvendo, respectivamente, a análise e a conscientização do aluno sobre sua própria aprendizagem e sobre as transformações em sua compreensão do objeto. Pois, é imperativo e essencial que o aluno estabeleça a relação entre a aquisição e utilização do método geral de pensamento e ação em relação ao objeto e a resolução do problema inicialmente proposto na atividade de estudo (DAVYDOV, 1982, 1988b, 1999).

Logo, em nosso experimento educacional, propomos uma abordagem inovadora que combina o modelo de ensino-aprendizagem denominado por Ensino Híbrido, a partir do formato de sala de aula invertida, unindo-se e a metodologia PBL (Problem-Based Learning), tal qual explicado nos capítulos anteriores. Nossa Sequência Didática visa proporcionar uma experiência de aprendizagem rica e dinâmica, a qual integra o melhor das interações presenciais e virtuais, ao mesmo tempo que desenvolve habilidades críticas para o século XXI, especialmente no ensino da disciplina de Física na cátedra da Educação Básica no Ensino Médio nas escolas do Brasil.

Mariane Hedegaard investiga a formação do pensamento teórico ao integrar as ideias de Davydov com uma análise das relações entre aprendizagem, práticas institucionais, cultura e as condições histórico-culturais de vida dos alunos (HEDEGAARD, 2020). Ela adota de Davydov a compreensão de que o desenvolvimento do pensamento teórico é fundamental para o ensino escolar, mas enfatiza que, na sociedade moderna industrializada, as interações sociais ocorrem dentro de atividades humanas realizadas em diferentes práticas institucionais, como

família, educação infantil, escola e comunidade. Dentro dessas práticas, existem atividades humanas variadas, cada uma com suas tradições, tipos de conhecimento, relações socioculturais e vivências cotidianas. Essas atividades proporcionam experiências concretas que exigem diferentes motivos e desafios para o pensamento e a capacidade dos indivíduos. Portanto, é essencial considerar a participação dos alunos nessas práticas institucionais, pois o desenvolvimento humano está profundamente ligado a elas (FREITAS; LIBÂNEO, 2022, p. 10).

Para Hedegaard (2020), a relação entre aprendizagem e desenvolvimento é influenciada pelas perspectivas social, institucional e individual, o que torna importante a compreensão sobre como um professor articula o conhecimento teórico com as experiências concretas vivenciadas pelos alunos em práticas institucionais. Um aluno participa simultaneamente de vários contextos institucionais em que há distintas práticas, apropriando-se aí de modos de pensamento. Como um contexto institucional, a escola é o lugar em que os alunos se apropriam de modelos teóricos que servem como ferramentas de análise dos problemas existentes nas práticas institucionais em geral (HEDEGAARD, 2008; 2020; FLEER; HEDEGAARD, 2010).

Hedegaard acrescentou ao pensamento de Vygotsky e de Davydov a articulação dialética entre as formas de desenvolvimento do pensamento e as perspectivas do aluno, da família, da escola, da sociedade. Ela agrega às ações de organização do ensino formuladas por Davydov a metodologia do duplo movimento no ensino, que consiste em planejar as situações didáticas de modo a promover a interrelação entre conhecimentos científicos e conhecimentos cotidianos mediados por práticas socioculturais institucionais. Nas tarefas de estudo isso se cumpre pela inserção de elementos do conhecimento local dos alunos nas relações conceituais do conteúdo estudado, de modo que eles adquiram o conhecimento teórico e o utilizem em suas práticas locais de vida (HEDEGAARD; CHAIKLIN, 2005; LIBÂNEO; FREITAS, 2019).

Segundo Hedegaard (2008), o experimento didático formativo é realizado em estreita conexão entre investigação científica e ensino, mas os participantes estão engajados em diferentes atividades humanas. O pesquisador está envolvido em

uma atividade investigativa, o professor colabora com a pesquisa enquanto exerce sua atividade de ensino, e os alunos estão imersos na atividade de estudo. Cada uma dessas atividades tem seus próprios objetos, motivos e objetivos. O motivo principal que orienta as ações do pesquisador é a busca por respostas à sua questão de pesquisa. Para o professor, o motivo dominante é promover e mediar a atividade de estudo dos alunos, facilitando a formação de conceitos. Já o motivo central para os alunos é desenvolver um princípio geral para a análise e solução do problema apresentado na tarefa, o que, por sua vez, leva à formação do conceito (FREITAS; LIBÂNEO, 2022, p. 11-12). No caso do nosso experimento realizado, o sujeito do conhecimento foi pesquisador e professor ao mesmo tempo, pois, tanto estive no papel de professor quanto de pesquisador ao aplicar nossa Sequência Didática que faz uso de Metodologias Ativas de Ensino, como é o caso do PBL que foi aplicado, sendo, também, feito uso de modelo educacional de ensino igualmente difundido e praticado, denominado por Ensino Híbrido, em nosso caso, em nosso experimento, a partir do uso da ferramenta pedagógica de Sala de Aula Invertida.

Nessa perspectiva, compreendemos como sendo essencial garantir no experimento didático formativo as seguintes relações fundamentais: a atividade coletiva e cooperativa dos alunos, que deve gerar motivos para a resolução de problemas relacionados ao conteúdo; o uso de modelos das relações conceituais do objeto estudado, juntamente com a formulação de modelos pelos próprios alunos para conectar conceitos teóricos a situações específicas; a integração entre métodos de investigação científica, métodos de ensino, estratégias de pensamento dos alunos e as mudanças nos modelos conceituais; e a utilização dos modelos conceituais pelos alunos, promovendo o desenvolvimento de motivos para a aprendizagem (HEDEGAARD, 2007; 2008; HEDEGAARD; FLEER, 2008), tal como, parcialmente, cumprimos em nosso experimento junto as turmas de Ensino Médio.

Logo, neste nosso trabalho, temos o propósito explícito de buscar integração entre a investigação acadêmica e a prática de ensino dos professores por meio de pesquisa empírica, especialmente no Ensino Médio da Educação Básica no Brasil, gerando conhecimento para alimentar o campo teórico investigativo da didática e das didáticas específicas, tanto quanto contribuindo para o avanço nas melhorias didáticas no ensino da disciplina de Física. Assim, nossa preocupação com o

desenvolver deste trabalho e, sobretudo, de nosso experimento na aplicação de nossa Sequência Didática, é dialético e tem por prerrogativa a preocupação tanto da investigação e pesquisa científica quanto com o fazer educação, isto é, com ensino de Física nas salas de aulas do Brasil – movimento dialético de investigação científica e didática. Kopnin (1978) afirma entender, como essencial do conhecimento humano e o seu movimento enquanto investigação,

A investigação científica é um processo imediatamente voltado para a obtenção, no pensamento, de novo resultado não só para um sujeito dado, mas para o sujeito em geral. Ademais, para entender a essência do conhecimento, é necessário vê-lo como investigação, porquanto nesta se manifesta justamente a particularidade característica do conhecimento humano: o movimento do pensamento no sentido de resultados efetivamente novos. A investigação científica enquanto ato do conhecimento se realiza à base da interação prática do sujeito com o objeto. Ela constitui uma forma teórica de apreensão do objeto pelo sujeito, nela se manifesta especialmente a natureza social do sujeito (KOPNIN, 1978, p.226).

Lenin (apud KOPNIN, 1978, p.222) determina o seguinte: “O movimento do conhecimento no sentido do objeto sempre se processa apenas dialeticamente: afastar-se, para acertar melhor [...]”. Tentando nos afastar, recordamos que a aprendizagem escolar se encontra como que estivesse encapsulada em um sistema de ensino tradicional, onde o foco muitas vezes recai sobre a memorização de conteúdos e o cumprimento de um currículo rígido. Essa abordagem pode limitar a criatividade dos alunos e dificultar o desenvolvimento de habilidades críticas, como o pensamento independente e a resolução de problemas. A necessidade de adaptar métodos pedagógicos para incentivar uma aprendizagem mais significativa e conectada com o mundo real torna-se, portanto, cada vez mais evidente, promovendo um ambiente educacional que valorize a compreensão profunda e a aplicação prática do conhecimento. Isto é, há uma “descontinuidade entre a aprendizagem na escola e a cognição fora da escola” (ENGESTROM, 2002, p.175). Assim, a aprendizagem escolar exerce um impacto limitado na formação de crianças e adolescentes, e o tipo de conhecimento transmitido nas escolas muitas vezes não se revela relevante para eles. Isso resulta em uma situação em que as crianças demonstram pouca motivação para buscar o conhecimento. Segundo Kopnin,

O conhecimento está necessariamente imbuído no campo da atividade prática do homem, mas para garantir o êxito desta atividade ele deve

relacionar-se necessariamente com a realidade objetiva que existe fora do homem e serve de objeto a essa atividade (KOPNIN, 1978, p.125).

Após nos afastarmos para olhar o nosso objeto no contexto da aprendizagem escolar, recordamos que essa pesquisa tem como objetivo investigar as ações constituintes de um espaço de aprendizagem, a partir dos pressupostos teóricos da abordagem histórico- do modelo educacional denominado por Ensino Híbrido, a partir da Sala de Aula Invertida e sua aplicação através do PBL. Sendo assim, esse trabalho aponta que a organização dos espaços de aprendizagem constitui uma das formas de acerto educacional, isto é, uma das formas que podem contribuir para a diminuição do encapsulamento da aprendizagem escolar.

A prática humana, incluindo a produção do conhecimento, sempre envolve a relação entre o singular, o particular e o universal, sendo um fenômeno de caráter histórico. Isso ocorre porque as propriedades humanas, tanto subjetivas quanto objetivas, resultam das amplas e complexas relações do ser humano com a natureza. Ao transformar a natureza, o ser humano também se transforma, desenvolvendo habilidades, criando necessidades e tornando sua atividade vital cada vez mais complexa, constituindo-se como um ser prático. A historicidade humana se concretiza na articulação entre a ideia e a ação, ou entre a teoria e a prática, manifestando-se no movimento de constituição da realidade social (ABRANTES; MARTINS, 2007, p. 315). Em relação ao processo do conhecimento, Abrantes e Martins afirmam o seguinte,

Portanto, a unidade sujeita – objeto reitera o papel do pensamento no processo de conhecer a realidade, ao mesmo tempo em que afirma a primariedade da realidade em relação ao pensamento. O conhecimento não emana nem do polo concreto, representado pelo objeto (realidade), nem do ABRANTES, A.A.; MARTINS, L.M. 316 Interface - Comunic, Saúde, Educ, v.11, n.22, p.313-25, mai/ago 2007 pólo abstrato, representado pelo sujeito (pensamento), concentrando-se no movimento entre estes pólos, na relação entre a realidade e a consciência sobre ela. É na base desta tensão que se consolida o trabalho intelectual sobre a realidade, trabalho este que, ao colocar o real a descoberto, pela apreensão de suas múltiplas determinações sintetizadas na unidade aparência – essência, o representa e o expressa teoricamente (ABRANTES; MARTINS, 2007, p. 315).

Logo, nosso experimento de aplicação de nossa Sequência Didática associou a abordagem empírica e investigativa a aplicação e interação da Sala de Aula Invertida sendo aplicado ao PBL no ensino escolar. Embora, assim como

compreendido por Kopin (1978), não pretendemos nos prender somente aos dados empíricos. Uma vez que, segundo ele, não é possível, pois, construir conhecimento novo sendo prisioneiro do empírico:

Chama-se teoria a um vasto campo de conhecimento, que descreve e explica um conjunto de fenômenos, fornece o conhecimento dos fundamentos reais de todas as teses lançadas, e reduz os descobrimentos em determinado campo e as leis a um princípio unificador único (KOPIN, 1978, p.237)

Pois, compreendemos que o desenvolvimento do pensamento e, por consequência, a produção de conhecimentos emergem de finalidades práticas. No entanto, também entendemos que esses fins não surgem da mera experiência sensorial imediata, mas sim da consciência que o sujeito tem sobre essa experiência. Dessa forma, o estabelecimento de objetivos e a identificação ou proposição de problemas práticos se revelam como atividades essencialmente teóricas (ABRANTES; MARTINS, 2007).

Para que as experiências práticas possam realmente impulsionar a construção de um conhecimento concreto e efetivo, é necessário um tipo de conhecimento muito especial: o conhecimento sobre aquilo que ainda se desconhece, mas que precisa ser compreendido. Saviani (1984, p.51) afirma a atividade investigadora como uma “incursão no desconhecido, que só se define por confronto com o conhecido”, ou seja, sem o domínio do conhecido não é possível incursionar no desconhecido - dado que reafirma o papel do ensino para o desenvolvimento das capacidades do pensamento. De acordo com Hedegaard,

O experimento didático é uma concretização da afirmação de Vygotsky de que o método genético formativo é um método de pesquisa necessário para investigar a formulação e o desenvolvimento dos aspectos conscientes da relação dos seres humanos com o mundo (HEDEGAARD, 2002, p.214).

O experimento didático da Sequência Didática que apresentamos foi fundamentado na ideia do desenvolvimento de dois contextos: da autonomia do conhecimento, quando o aluno, através da Sala de Aula Invertida, assume o protagonismo do ensino-aprendizagem; da descoberta e da prática, quando a partir da aplicação de problemas, fundamentados na metodologia ativas de aprendizagem, como o PBL, a partir das atividades orientadoras de ensino, que são

aquelas que se estruturam de modo a permitir que os sujeitos interajam, mediados por um conteúdo, negociando significados, com o objetivo de solucionar uma situação-problema (MOURA, 1996, 2001). Para Moura,

A atividade orientadora de ensino tem uma necessidade: ensinar; tem ações: define o modo ou procedimentos de como colocar os conhecimentos em jogo no espaço educativo; e elege instrumentos auxiliares de ensino: os recursos metodológicos a cada objetivo e ação (livro, giz, computador, ábaco etc.). E por fim, os processos de análise e síntese, ao longo da atividade, são momentos de avaliação permanente para quem ensina e aprende (MOURA, 2001, p.155).

É com essa visão que planejamos nosso experimento da aplicação de nossa Sequência Didática. Hedegaard (2002, p.215) reforça que a atividade planejada “visa desenvolver uma zona de desenvolvimento proximal para a classe como um todo, em que cada criança adquire conhecimento pessoal através das atividades compartilhadas entre o professor e as crianças e entre as próprias crianças”, em nosso caso particular, já que o experimento foi realizado junto a turmas do Ensino Médio, estamos a nos referir também aos adolescentes ao invés de somente crianças. Trata-se de aplicação de Metodologias Ativas de ensino e aprendizagem, tal como descrevemos com certa profundidade no capítulo anterior, isto é, que gerem motivação e o interesse pelo conteúdo serem desenvolvidos junto aos alunos. A técnica principal de motivação desenvolvida no trabalho foi baseada no uso de atividade interativa e, como já falado, fundamentadas nas metodologias educacionais de Sala de Aula Invertida aplicando o PBL. Rivina, por exemplo, determina que:

[...] a interação que ocorre no interior de uma atividade lúdica, aumenta, em muito, a motivação das crianças que estão em busca de solução para problemas matemáticos e acarreta uma maior atividade cognitiva, contribuindo para o desenvolvimento do pensamento criador de imagens ou metáforas etc. (RIVINA, 1996, p.141).

Ainda destacamos que o conteúdo de ensino escolhido para as atividades orientadoras de ensino e, por consequência, do experimento da Sequência Didática que estamos a apresentar foi Óptica.

Em tal experimento, objetivamos desenvolver o pensamento crítico, onde o aluno passa a ser desafiado a resolver problemas reais relacionados, neste caso de nosso experimento, como demonstrado a seguir, em relação a área da Física

denominada por Óptica, através da utilização de uma Pirâmide Holográfica. O que os levará a pensar de forma crítica sobre as alternativas disponíveis e suas implicações. Além de promover a aprendizagem ativa através da metodologia PBL, pois, os alunos se tornam agentes ativos no processo de aprendizagem, investigando, discutindo e propondo soluções inovadoras para um problema apresentado. Bem como, integrar teoria e prática, já que com a Sala de Aula Invertida, o conteúdo teórico é estudado em casa, permitindo que o tempo em sala de aula seja dedicado à aplicação prática do conhecimento adquirido.

Essa abordagem permite que os alunos explorem conceitos complexos de Óptica de maneira mais dinâmica e envolvente, aplicando a teoria em situações práticas que espelham desafios reais. A utilização da Pirâmide Holográfica como ferramenta pedagógica serve não apenas como um recurso visual impactante, mas também como um meio de aprofundar a compreensão dos fenômenos ópticos, como reflexão, refração e a formação de imagens. Ao enfrentar esses desafios, os alunos desenvolvem habilidades essenciais, como a capacidade de analisar dados, formular hipóteses e tomar decisões informadas com base em evidências científicas; isso tendo por objetivo o fomento do pensamento crítico e a aprendizagem ativa. Compreendendo, desta forma, que estamos a propor um experimento inovador, Sequência Didática, que utiliza a pirâmide holográfica como ferramenta central para o estudo da óptica, uma vez que, através da metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), os alunos serão desafiados a investigar fenômenos ópticos complexos, desenvolvendo habilidades de investigação, análise e resolução de problemas. Tendo em vista que ao explorar as propriedades da luz através da pirâmide holográfica, os estudantes serão capazes de visualizar de forma concreta conceitos abstratos como refração, reflexão e difração. A manipulação da pirâmide e a observação dos efeitos visuais proporcionados por ela estimularão a curiosidade e o desejo de compreender os fenômenos físicos envolvidos.

Além disso, a combinação das metodologias PBL (Problem-Based Learning) e Sala de Aula Invertida reforça a autonomia e o protagonismo dos estudantes, tornando-os responsáveis por seu próprio processo de aprendizagem. Essa integração entre teoria e prática não só enriquece a experiência educacional, mas também prepara os alunos para lidar com situações complexas fora do ambiente

escolar, incentivando um pensamento crítico e inovador. A prática contínua de resolução de problemas reais, dentro de um contexto interdisciplinar, promove uma compreensão mais profunda dos conteúdos estudados, ao mesmo tempo em que desperta o interesse dos alunos por áreas específicas da ciência, como a Física. Sendo assim, enfatizamos, sob o risco de sermos prolixos que ao adotarmos essas metodologias ativas, não apenas ampliamos o escopo do conhecimento teórico, mas também capacitamos os alunos a aplicarem o que aprenderam de maneira criativa e eficaz, preparando-os para os desafios acadêmicos e profissionais que encontrarão no futuro.

Quanto as atividade e avaliação dos alunos, os quais participaram do experimento da aplicação de nossa Sequência Didática, podemos afirmar que a avaliação deles foi realizada de forma contínua, considerando tanto os aspectos individuais quanto os coletivos. Como veremos, foram avaliados a participação nas atividades, a capacidade de trabalhar em equipe, a criatividade nas soluções propostas e a apresentação dos resultados.

Ao final do experimento, espera-se que os alunos demonstrem um sólido domínio dos conceitos de óptica, além de habilidades como pensamento crítico ao analisarem informações para que possam questionar resultados e tomar decisões embasadas em evidências; que possa desenvolver sua criatividade, ao serem instigados a que proponham soluções inovadoras para problemas complexos; que tenham colaboração, isto é, que possam trabalhar em equipe, respeitando as diferentes perspectivas e contribuições apresentadas por todos no decorrer de nossa experiência; que tenham desenvolvimento em suas comunicações, evoluindo no que tange a expressarem suas ideias de forma clara e concisa, tanto oralmente quanto por escrito; bem como, que possam utilizar tecnologias digitais, podendo dominar ferramentas digitais para pesquisa, análise de dados e criação de apresentações. Visto que, acreditamos piamente que este experimento proporcionará, assim como já proporcionou, aos alunos uma experiência de aprendizagem rica e significativa, preparando-os para os desafios do mundo contemporâneo, que exige cada vez mais profissionais capazes de pensar de forma crítica, resolver problemas complexos e trabalhar em equipe.

Destarte, registramos que nosso experimento, aplicando a Sequência Didática, visa não apenas o aprofundamento do conteúdo a ser explorado, mas também o desenvolvimento de competências essenciais, como trabalho em equipe, comunicação eficaz, criatividade e capacidade de resolver problemas complexos. Além disso, o modelo híbrido permite uma maior flexibilidade no processo de aprendizagem, respeitando os diferentes ritmos e estilos de aprendizagem dos alunos. Como discutido neste texto, a pesquisa realizada por meio de microciclos de experimento didático formativo no contexto da sala de aula gera análises que contribuem para o desenvolvimento de uma didática que integra a didática básica com as didáticas específicas, promovendo o avanço do conhecimento na área. Além disso, o experimento didático, ao articular os princípios de Vygotsky, Davydov e Hedegaard dentro das condições concretas da educação escolar no Brasil – incluindo as realidades de vida dos alunos e as condições de trabalho dos professores – pode oferecer uma contribuição significativa para que pesquisadores em didática avancem em suas próprias investigações. Como veremos a seguir, buscamos realizar experimentos didáticos em microciclos. Na verdade, tratou-se de um único experimento didático, de aplicação de nossa Sequência Didática, o qual se dividiu em algumas fases, em alguns micros experimentos ou microciclos, enfrentando o desafio teórico-metodológico e prático de aplicar os princípios e procedimentos de investigação, ainda que não em suas totalidades, pois aplicamos parcialmente, propostos por Vygotsky, desenvolvidos por Davydov, e enriquecidos com as contribuições de Hedegaard.

Dessa forma, orientamos nosso experimento no sentido de realização do processo de ensino-aprendizagem em ambiente real de escola comum, dentro da programação escolar e da rotina de trabalho do professor, visando obter dados empíricos qualitativos que permitam identificar e analisar os dados coletados a partir da aplicação e experiências com nossa Sequência Didática, as quais possam ser consideradas como expressão de formação de conceitos ou como indício de que este processo está ocorrendo, criando possibilidades de desenvolvimento conforme as condições reais dos alunos. Portanto, nesta direção, busca-se analisar, de forma articulada às capacidades dos alunos e suas conexões com a forma de organização do ensino e conteúdo proposto para aprendizagem.

Nesse contexto, é especialmente importante analisar a significativa influência das concepções dos autores mencionados, baseando-se em conceitos como: atividade humana; mediação cultural e histórica na formação da consciência; periodização do desenvolvimento humano; zona de desenvolvimento proximal; relação entre a organização do ensino e o tipo de pensamento promovido aos alunos; processo de formação de conceitos; pensamento teórico e conceito teórico como foco do ensino e da atividade de estudo; motivações dos alunos como sujeitos históricos; relações entre as práticas sociais e culturais dos alunos nas instituições em que participam e os métodos de pensamento que eles adotam; atividade de estudo; duplo movimento do ensino; e mediação didática. Pois, o projeto de um experimento didático educacional, além dos elementos convencionais de um projeto de pesquisa científica, exige a elaboração detalhada do plano de ensino dentro de uma disciplina, com foco na atividade de estudo de um objeto para desenvolver seu conceito teórico em uma área específica do conhecimento. É essencial definir as relações conceituais gerais e particulares que os alunos devem formar, projetar as mudanças qualitativas esperadas em sua aprendizagem e pensamento, e estabelecer: os conteúdos e as ações práticas que os alunos devem realizar; as ações do professor da disciplina, que atua como colaborador na implementação do plano de ensino junto com as mediações do pesquisador; os materiais didáticos necessários e adequados para a formação do pensamento teórico dos alunos; e as ações específicas do pesquisador (FREITAS; LIBÂNEO, 2022, p. 13-14). Enfatizamos novamente que, neste trabalho, a figura do professor e pesquisador se equivalem e se concentram em um mesmo sujeito.

## **2. Metodologia e Aplicação da Sequência Didática junto aos alunos do Ensino Médio**

### **2.1. Metodologia**

O plano de ensino, desenvolvido pelo professor da disciplina, iniciou-se com a análise do conteúdo que será o foco da atividade de estudo dos alunos. Nesta

análise, por meio de um exame lógico e histórico, busca-se identificar a relação geral, universal e abstrata do conteúdo dentro de uma área do conhecimento. Determinar claramente essa relação é fundamental para formular o conteúdo de cada elemento da atividade de estudo (o que o aluno fará em cada etapa, para quê e sob quais condições). A análise do conteúdo requer procedimentos investigativos relevantes. As tarefas de estudo elaboradas devem mobilizar os motivos dos alunos, levando em consideração sua experiência no contexto local e relacionando-se com a atividade dominante no estágio de desenvolvimento humano em que se encontram os alunos (ELKONIN, 1987, 2012). Além disso, as práticas socioculturais e institucionais das quais os alunos participam devem servir como referência para conectar conceitos cotidianos com conceitos científicos, concretizando o duplo movimento do ensino (HEDEGAARD; CHAIKLIN, 2005; HEDEGAARD, 2002b, 2008; FREITAS; LIBÂNEO, 2019).

Nosso experimento didático também se preocupou com a formação dos professores da disciplina de Física, abrangendo conhecimentos básicos sobre os processos de ensino-aprendizagem, propósitos e procedimentos da pesquisa, criando uma ponte entre pesquisa e formação profissional docente na prática real. Desta forma, nossas atividades de estudo propostas aos alunos, foram organizadas de acordo com as seis ações estabelecidas por Davydov (1988b), sendo detalhadas e alinhadas aos objetivos, considerando os conhecimentos prévios dos alunos sobre o objeto de estudo, a saber o conteúdo de Óptica da disciplina de Física. Assim, a elaboração das ações de estudo teve apresentação de um problema formulado para mobilizar a atividade com o objeto de conhecimento, seguindo o percurso das seis ações do pensamento abstrato ao concreto e aplicando a Metodologia Ativa do PBL, isso após, como descreveremos passo a passo a seguir, a utilização do modelo de educacional de Ensino Híbrido, a partir de seu recurso didático de Sala de Aula Invertida. E, garantindo que durante o experimento, pesquisador/professor acompanha de perto o desenvolvimento das ações dos alunos, observando e registrando, discutindo e avaliando os sucessos e desafios, e realizando ajustes conforme necessário.

Sobre as condições metodológicas que garantem a validade e a confiabilidade do experimento didático formativo, Hedegaard (2008) destaca os

seguintes pontos: a) Os conceitos, dentro da tradição investigativa da matéria, devem ser formulados como relações conceituais e representados por modelos. b) Os modelos precisam refletir as relações conceituais de forma que uma mudança em qualquer aspecto se reflita nos outros. c) As interações na situação social de aprendizagem devem registrar e especificar as perspectivas do pesquisador, dos alunos e do professor. d) As práticas institucionais devem ser consideradas como condições para a situação social de aprendizagem dos alunos, promovendo motivos e competências. Já que promover o duplo movimento no ensino exige a consideração da perspectiva societal, incluindo tradições culturais, valores, práticas institucionais na família e nas escolas, e os contextos locais de vivência dos alunos (HEDEGAARD, 2002a; HEDEGAARD; CHAIKLIN, 2005).

Conforme defende Hedegaard (2008), nosso experimento enfatizou que o processo de ensino-aprendizagem deve ter um caráter dialético e interativo, posicionando o professor como um parceiro que estabelece uma integração equilibrada com os alunos, garantindo a obtenção de conhecimentos significativos sobre o objeto pesquisado e/ou conteúdo estudado.

Na metodologia aplicada em nosso experimento de aplicação de nossa Sequência Didática, fizemos a distinção clara entre as atividades dos alunos (estudo), do pesquisador (pesquisa) e do professor (ensino), tal distinção deve ser mantida para preservar os respectivos focos e evitar a confusão de objetivos e ações, muito embora a figura do professor no experimento e do pesquisador tenha sido exercidas por mesma pessoa, conseguimos manter a separação entre as ações distintas: ensinar e estar como pesquisador analisando o objeto a ser pesquisado, a saber o experimento que estava sendo aplicado. Pois, por exemplo enfatizamos que foco principal do pesquisador deve ser o objeto de pesquisa como um todo, enquanto o foco do professor e dos alunos deve ser o ensino e a aprendizagem, bem como, a formação do conceito teórico do objeto, isto é, o conteúdo a ser estudado. Segundo Kopnin,

Para demonstrar a veracidade de qualquer construção teórica, é necessário mostrar o caminho pelo qual o nosso pensamento chegou a ela, analisar o material factual, as leis e formas de sua elaboração, o método de construção de uma teoria [...]. O processo de obtenção da verdade não pode ser representado sob uma forma em que ela seria inicialmente

descoberta e depois demonstrada. O processo de sua descoberta compreende a sua demonstração e vice-versa: a demonstração de uma teoria apresenta ao mesmo tempo com seu desenvolvimento, complemento, concretização (KOPNIN, 1978, p.83).

O registro do experimento foi feito por escrito, por imagens e em vídeo, todas esses modelos de forma simultânea, tal conforme Hedegaard (2007) nos asseguram como possibilidades, ou por meio de todas essas formas simultaneamente. E, na análise e interpretação dos dados, consideramos as mudanças esperadas e especificadas no planejamento, com foco nos indícios de mudanças qualitativas na aprendizagem dos alunos, na formação de objetivos e no uso de estratégias investigativas, além da construção de modelos de relações conceituais do objeto de estudo. Sendo crucial a análise da participação dos alunos na atividade coletiva, a reflexão sobre suas ações em relação à aprendizagem e como eles se percebem e se avaliam em relação aos objetivos das atividades.

Além das categorias relacionadas aos conceitos fundamentais das teorias de Vygotsky, Davydov e Hedegaard, os resultados de nossa análise, os quais discorreremos a seguir, foram organizados em categorias criadas com base nas relações entre as ações do professor e as ações dos alunos, incluindo aspectos como interação social, participação, motivos, interesses, cooperação e desenvolvimento dos processos de pensamento. Conforme defendem Hedegaard e Fleer (2008), isso envolve a formulação de problemas, a criação e uso de modelos, a aplicação de procedimentos, as mudanças nos modelos em relação às mudanças nas capacidades, e as conexões entre os elementos do modelo para explicar as mudanças identificadas no objeto de estudo. Portanto, em nosso experimento, foi essencial considerarmos o aspecto criador e transformador da relação do aluno com o objeto de conhecimento.

Destacamos que o experimento foi conduzido em uma turma de Ensino Médio do Colégio Pop, com foco em estudantes do segundo ano do Ensino Médio, com vinte e cinco alunos. A turma selecionada participou de uma unidade de ensino dedicada ao estudo de Óptica, com ênfase em espelhos planos e leis da reflexão.

A Sequência Didática foi estruturada em três fases principais, integrando as metodologias de Sala de Aula Invertida e Aprendizagem Baseada em Problemas

(PBL): a) Fase Pré-Aula (Sala de Aula Invertida), antes da aula presencial, os alunos receberam materiais didáticos para estudo autônomo, incluindo textos, vídeos explicativos, e exercícios práticos. Esses materiais foram disponibilizados em uma plataforma online, Google Sala de Aula, acessível a todos os alunos. O conteúdo abordado englobava os conceitos fundamentais de Óptica, como a formação de imagens em espelhos planos, aplicando as leis da reflexão. O objetivo desta fase foi garantir que os alunos chegassem à aula presencial com uma compreensão básica dos tópicos, prontos para aplicá-los em atividades mais complexas. b) Fase de Aula Presencial: na qual os alunos foram apresentados a uma pirâmide holográfica que serviu como principal recurso didático para explorar os conceitos de Óptica. A aula foi dividida em duas partes: 1. Exploração do Conceito (Introdução ao PBL), onde o professor apresentou a pirâmide holográfica, explicando brevemente como ela funciona e como seria utilizada para estudar a reflexão e a formação de imagens, nesse momento os alunos eram incentivados a fazer previsões sobre o que observavam e a formularem hipóteses sobre os fenômenos envolvidos que eram presenciados. 2. Atividade Prática (PBL), na qual alunos foram orientados a realizar experimentos com a pirâmide holográfica. A tarefa consistia em observar as imagens formadas e relacioná-las com os conceitos estudados na fase pré-aula. Os alunos deveriam identificar as quatro imagens geradas pelas diferentes faces da pirâmide, compreender o processo envolvido e discutir como as leis da reflexão se aplicavam ao experimento. c) Fase Pós-Aula (Reflexão e Avaliação), ocorreu ao término da aula prática, ainda durante a aula presencial, onde foi realizada uma sessão de discussão em sala de aula, tendo que os alunos apresentassem suas conclusões, além de discutirem as dificuldades encontradas. O professor mediou a discussão, fornecendo feedback e esclarecendo eventuais dúvidas. Em seguida, os alunos foram orientados a completar um exercício de reflexão, onde deveriam explicar em detalhes o que aprenderam, identificar erros cometidos durante a atividade e sugerir melhorias para futuros experimentos.

Ressaltamos, novamente, em relação a coleta de dados que a mesma foi realizada através de múltiplos instrumentos e procedimentos, permitindo uma análise abrangente do processo de ensino-aprendizagem, tais como, observação em sala de aula, sendo realizadas observações sistemáticas durante as fases de aula

presencial e prática, e sendo registrados os comportamentos dos alunos, suas interações e a forma como aplicaram os conceitos aprendidos, bem como, observação de detalhes sobre o engajamento dos alunos e as dificuldades encontradas.

Realizamos gravações de vídeos para posterior análise detalhada das interações entre os alunos e do processo de construção do conhecimento proposto por nossa Sequência Didática, visto que, tais gravações permitiram uma análise minuciosa das estratégias de resolução de problemas adotadas pelos alunos; eles ainda responderam a questionários de autoavaliação (oralmente), onde refletiram sobre sua experiência e aprendizado, para obtermos uma compreensão mais profunda das percepções sobre a eficácia das metodologias aplicadas com nossa Sequência Didática. As reflexões escritas pelos alunos ao final da atividade serviram como um indicador qualitativo de seu entendimento dos conceitos e de como relacionaram a teoria com a prática. Esses textos foram analisados para identificar padrões de aprendizado e possíveis lacunas na compreensão.

Os dados coletados foram analisados de maneira qualitativa e quantitativa. A análise qualitativa focou em identificar mudanças no entendimento dos alunos, especialmente na aplicação dos conceitos de Óptica em um contexto prático. As gravações de vídeo foram examinadas para detectarmos momentos de *insight* e de dificuldades recorrentes, bem como a dinâmica da interação entre os alunos durante a resolução de problemas; já os questionários de autoavaliação forneceram dados quantitativos sobre a percepção dos alunos em relação ao seu próprio aprendizado e à eficácia das metodologias. Esses dados foram usados para correlacionar a confiança dos alunos no conteúdo aprendido com sua performance nas atividades práticas e suas performances com a utilização das Metodologias Ativas de Aprendizagem aplicadas a partir de nossa Sequência Didática.

Destacamos e reforçamos que o experimento de aplicação de nossa Sequência Didática, a partir do uso e interação da Sala de Aula Invertida e PBL, foi conduzido com aprovação prévia dos responsáveis pelos alunos e das autoridades escolares. Todos os participantes foram informados sobre os objetivos do experimento e assinaram termos de consentimento, conforme em anexo, garantindo

que os dados coletados seriam utilizados exclusivamente para fins de pesquisa acadêmica. As identidades dos alunos foram mantidas em sigilo durante todo o processo de análise e divulgação dos resultados.

Registramos que a metodologia adotada permitiu um acompanhamento detalhado do processo de ensino-aprendizagem, integrando práticas tradicionais e inovadoras de maneira coerente. O uso de metodologias ativas, como a Sala de Aula Invertida e o PBL, demonstrou ser uma abordagem eficaz para engajar os alunos em um aprendizado profundo e significativo, especialmente em tópicos abstratos como Óptica. As observações e análises realizadas ao longo do experimento forneceram insights valiosos para futuras aplicações e ajustes na Sequência Didática utilizada.

## **2.2. Aplicação da Sequência Didática junto aos alunos do Ensino Médio**

Como já mencionado, primeiramente, enviamos uma videoaula sobre leis da reflexão e espelhos planos para poder utilizar o método de Sala de Aula Invertida aplicando o PBL, concomitantemente foi trabalhado um questionário com quatro perguntas dissertativas sobre o tema da videoaula.

Espelhos planos são materiais com uma superfície de reflexão completamente lisa e nivelada. Esses espelhos costumam ter uma aparência como a ilustrada abaixo, onde a superfície lisa (à esquerda) é a parte refletora e a superfície com traços (à direita) é a parte não refletora. Um exemplo comum é o espelho encontrado em banheiros.

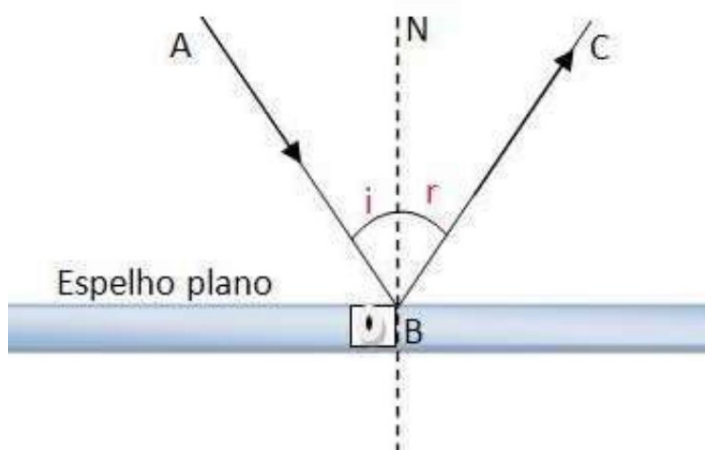
Figura 19 – Espelho plano.



Fonte: Descomplica (2024)

Quando um raio luminoso é direcionado para essa superfície refletora, esse raio é refletido conforme a figura abaixo:

Figura 20 – Representação de raio luminoso no espelho plano.



Fonte: Descomplica (2024)

Vale destacar que o raio que incide sobre o espelho, chamado de raio incidente (A), e o raio que é refletido, denominado raio refletido (C), têm relações específicas com a superfície do espelho. Se traçarmos uma linha perpendicular à superfície do espelho, essa linha é chamada de reta normal, e o ângulo formado entre a reta Normal e a superfície do espelho é de  $90^\circ$ . O ângulo entre o raio incidente e a reta normal ( $i$ ) é o ângulo de incidência, enquanto o ângulo formado entre o raio refletido e a reta normal ( $r$ ) é o ângulo de reflexão.

A segunda lei da reflexão nos espelhos planos afirma que a normal atua como uma bissetriz, estabelecendo que:

- O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão ( $i = r$ ).

Em relação ao questionário, conforme apresentado no anexo, objetivamos, a partir da primeira pergunta, que os alunos identificassem qual o fenômeno físico predominante, a saber: reflexão, pois, além da reflexão há também a absorção e a refração, porém, a reflexão é predominante, visto que, existe uma superfície refletora por traz do vidro onde a luz que incide reflete mais do que é absorvida, a qual é refratada no próprio vidro.

A segunda pergunta objetivou a compreensão dos alunos em relação a qual tipo de imagem foi produzida no espelho plano, que é uma imagem virtual, direta ou direita, do mesmo tamanho e enantiomorfa<sup>4</sup>.

Na terceira pergunta, foi questionado o que seria uma imagem enantiomorfa, objetivou que os alunos entendessem a formação das quatro imagens sobrepostas umas as outras. Trata-se de uma das características principais do espelho plano, a qual a imagem tem uma inversão lateral, por exemplo, o braço direito se torna o braço esquerdo. Um outro exemplo é que as letras são invertidas lateralmente quando se coloca uma palavra de frente a um espelho plano. Portanto, é importante que eles saibam o que é uma imagem enantiomorfa diferente da imagem homomorfa, isto é, imagem que não tem essa inversão lateral.

Na quarta e última pergunta, a qual se fala sobre a simetria que existe entre o objeto e a imagem no espelho plano, tivemos por objetivo ratificar a definição de enantiomorfíssimo, ou seja, espelho plano é simétrico em relação ao objeto e a imagem, por exemplo, se do objeto para a imagem tiver três metros, consequentemente, do objeto ao espelho terá um metro meio, assim como, da imagem para o espelho também terá um metro e meio. Tal procedimento foi, também, apresentado no quadro da sala de aula, onde os alunos passaram a ter uma maior compreensão acerca da simetria.

---

<sup>4</sup> Imagem que tem uma inversão lateral.

### 2.3. Sobre o experimento e aplicação do PBL

O experimento da pirâmide holográfica foi realizado em diversas turmas do ensino médio e, em seguida, foi proposta a explicação por parte dos alunos, por meio da fala e de desenhos no quadro.

Durante a aplicação do produto, foi feita uma aula presencial após o envio do vídeo aula junto das quatro questões no Google Forms. Primeiro foi mostrado o experimento para que os alunos vislumbrarem o que estava acontecendo sobre aquela suposta holografia, para depois criarmos um debate acerca do que estava sendo mostrado do experimento e, também, baseado na videoaula que os alunos já tinham visto.

Figura 21 – Demonstração de Holografia realizado pelo professor.



Fonte: Elaboração do autor (2024).

Figura 22 – Demonstração de Holografia realizado pelo professor.



Fonte: Elaboração do autor (2024).

Figura 23 – Demonstração de Holografia realizado pelo professor.



Fonte: Elaboração do autor (2024).

Nossa primeira percepção foi que os alunos ficaram muito impressionados com o suposto tridimensionalismo que aparece na holografia. No início eles ficaram sem saber explicar direito o que era aquilo, mesmo vendo a vídeo aula sobre espelhos planos e reflexão da luz, mas, a partir do momento em que foram feitas algumas perguntas pelo professor para que eles fossem estimulados a devolverem

respostas autônomas. A partir deste momento, alguns alunos começaram a perceber os quatro espelhos planos que estão ali inclinados.

Foi aí que ficou mais claro que as faces da pirâmide formavam quatro imagens, cada espelho plano mostrava uma imagem virtual, direta e de mesmo tamanho, no entanto, as quatro imagens estavam no mesmo local e mesma posição. Tal procedimento foi ilustrado no quadro, onde foi demonstrado, a partir de desenho, a simetria entre o objeto e a imagem do espelho plano. Foi apresentado também o raio de luz sofrendo reflexão no espelho plano, começando a ficar claro o porquê de tal fenômeno ter uma aplicação direta com os espelhos planos e não ser uma holografia.

Figura 24 – Demonstração de Holografia realizado pelo professor.



Fonte: Elaboração do autor (2024).

#### **2.4. Das atividades em aula presencial**

Conforme consta em anexo, tivemos uma atividade na qual foi explorado nossa Sequência Didática. “Qual o fenômeno físico predominante nos espelhos planos?” Essa questão foi escolhida para testar o conhecimento dos alunos sobre espelhos planos, assunto abordado em videoaula e de vital importância para o

entendimento da pirâmide holográfica (experimento apresentado em sala). Mesmo sendo uma pergunta relativamente fácil, é necessária para avaliar o aprendizado dos alunos e sua atenção à aula, além disso, o fenômeno físico da reflexão é a base do experimento, pois, é por meio dele que as imagens são formadas no espelho plano, sendo necessário sua compreensão, não somente para entender a experimentação.

Na questão seguinte, “Quais as características da imagem formada nos espelhos planos?”, exploramos as imagens formadas nos espelhos planos, as quais apresentam certas peculiaridades, como o enantiomorfismo, que é um termo utilizado em diversas áreas, mas, de maneira geral, refere-se a objetos que, embora possuam a mesma forma e dimensões, são imagens especulares<sup>5</sup> um do outro e não podem ser sobrepostos. Imagine suas mãos: elas são praticamente idênticas, mas se você tentar encaixar uma mão na luva da outra, perceberá que elas são diferentes, como se fossem imagens em um espelho.

O enantiomorfismo é uma característica dos espelhos que se refere à simetria entre dois objetos que não podem se sobrepor. Isso significa que, ao observar uma imagem em um espelho, as informações do lado direito do objeto aparecem no lado esquerdo da imagem refletida. Por exemplo, se uma pessoa balança a mão esquerda diante de um espelho, a imagem refletida mostrará a mão direita balançando.

---

<sup>5</sup> Uma imagem especular é exatamente o que o nome sugere: uma imagem que você veria ao olhar para um espelho. É como se você tivesse um objeto e o colocasse na frente de um espelho plano. A imagem que você vê no espelho é a sua imagem especular.

Figura 25 - Cachorro observando reflexo no espelho.



Fonte: Portal do Dog (2024).

Essas características são muito importantes para explicar o surgimento da imagem na pirâmide holográfica, além de ser uma pergunta básica sobre o assunto. Essa atividade foi vital para que o aluno obtivesse um maior entendimento sobre a pirâmide holográfica e pudesse explicar o funcionamento dela de forma coerente, o que será abordado mais à frente.

Ainda tivemos uma terceira pergunta, “O que seria uma imagem enantiomorfa?” Quando esse fenômeno foi citado em sala de aula, foi causado certo estranhamento nos alunos, visto que o nome pode soar estranho, mas quando citado o uso do espelho no cotidiano, que inverte as imagens lateralmente, eles entenderam do que se tratava. Essa característica serve para entender o experimento, uma vez que está diretamente relacionada à posição que as imagens na tela do aparelho celular devem estar para que seu reflexo esteja visível corretamente.

A última pergunta foi a seguinte: “Explique a simetria existente entre o objeto e a imagem formada no espelho plano”. No processo de formação da imagem no espelho plano, a imagem surge invertida lateralmente, ou seja, de maneira oposta, sendo necessário um posicionamento estratégico para que o experimento funcione. Essa questão visa o entendimento do aluno acerca desse fenômeno, entendendo, dessa forma, o processo de formação da imagem na pirâmide e o funcionamento de

espelhos planos em geral. Dessa maneira, a questão foi de grande necessidade para o aprendizado e explicação, por parte dos alunos, do experimento.

## **2.5. Resultados Obtidos**

Foram obtidos resultados satisfatórios, demonstrando o aprendizado do assunto antes abordado em aula (espelhos planos) e sua aplicação em um caso fora do comum – pirâmide holográfica. Nenhuma turma demonstrou grandes dificuldades para explicar o experimento ainda que, obviamente, não tenha sido feita de maneira perfeita. Por fim, o processo de estimular os alunos através de situações problemas serviu para tirá-los de sua zona de conforto e exercitar o raciocínio, analisando a situação e aplicando as estratégias antes ensinadas para a resolução do problema.

Obtivemos como resultado uma significativa compreensão conceitual, já que os alunos demonstraram um bom entendimento dos conceitos de espelhos planos e das leis da reflexão, tal como percebido pelo professor de sala de aula. Evidenciou-se, ainda segundo a percepção do docente, a capacidade dos alunos em explicar os princípios físicos durante o experimento, como tivemos como resultado a aplicação prática dos conceitos em um caso fora do comum, a partir da pirâmide holográfica, revelando que os alunos conseguiram transferir o conhecimento teórico para situações práticas, mostrando uma integração eficaz do conteúdo aprendido. Segundo o docente da disciplina:

Fiquei bastante satisfeito ao observar o envolvimento dos alunos durante a atividade. Eles não apenas participaram com entusiasmo, mas também demonstraram uma compreensão real dos conceitos discutidos em sala. Foi gratificante ver que conseguiram aplicar, de forma autônoma, os princípios da reflexão da luz na construção e análise da pirâmide holográfica. Esse tipo de experiência evidencia o quanto o aprendizado pode ser significativo quando associado à experimentação prática. Ver os alunos explicando entre si o comportamento dos raios de luz e relacionando isso com as imagens formadas foi, sem dúvida, um indicativo de que estamos no caminho certo no processo de ensino-aprendizagem (Professor de Sala de Aula).

Tais resultados foram percebidos pelo professor que aplicou a Sequência Didática, recorrendo que os alunos demonstraram uma compreensão real dos conceitos discutidos em sala de várias maneiras, como por exemplo ao aplicarem corretamente as leis da reflexão quando explicavam por que as imagens pareciam “flutuar” na pirâmide holográfica, reconhecendo que os ângulos de incidência e

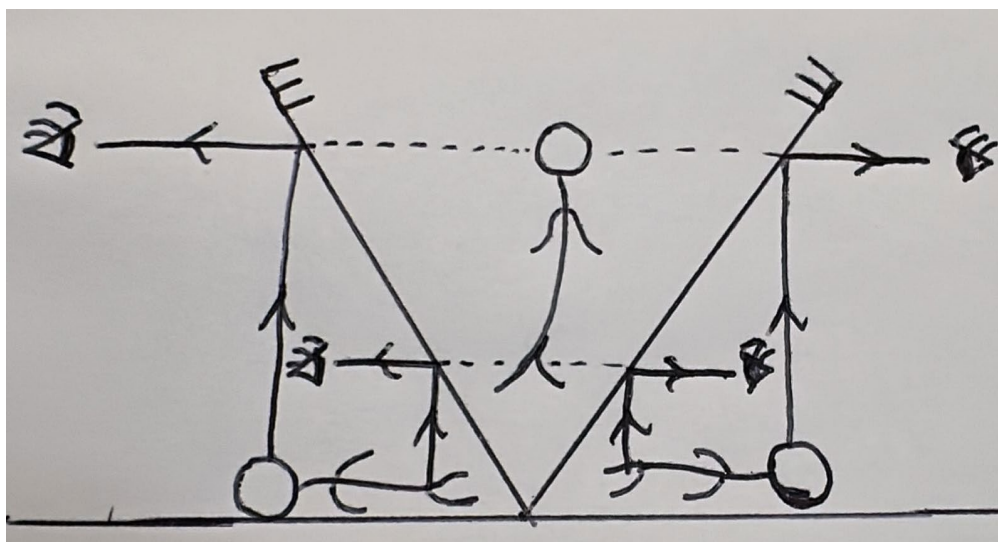
reflexão eram determinantes na formação da imagem; uma vez que utilizavam vocabulário científico adequado, como “raio incidente”, “raio refletido”, “superfície refletora” e “imagem virtual”, durante as discussões em grupo e nas apresentações orais; ou mesmo quando faziam previsões sobre o comportamento da imagem antes mesmo de testarem na prática, demonstrando que internalizaram os conceitos e conseguiam antecipar os resultados; além de colaboraram entre si para ajustar o posicionamento dos espelhos da pirâmide e otimizar a visualização da imagem, mostrando que compreendiam como a geometria do sistema afetava a projeção. Defendemos que essas atitudes e falas revelam mais do que memorização: elas mostram que os alunos estavam, de fato, pensando fisicamente sobre o fenômeno.

Ressaltamos que os alunos que participaram do experimento conseguiram aplicar, de forma autônoma, os princípios da reflexão da luz na construção e análise da pirâmide holográfica por meio de ações como execução de planejamento e montagem consciente da pirâmide, pois, eles compreenderam que cada face transparente da pirâmide atuaria como um espelho plano e posicionaram as faces com ângulos iguais entre si, assegurando que os raios refletidos formassem a imagem virtual no centro da estrutura; a escolha e organização do conteúdo projetado, uma vez que, ao selecionarem vídeos ou animações específicas para projetar, os alunos consideraram a simetria e a posição da imagem em relação às faces da pirâmide, evidenciando que entenderam o caminho que a luz percorreria até chegar aos seus olhos; havendo ajustes finos no experimento, a medida que os alunos notavam distorções ou falhas na projeção, identificando causas relacionadas ao posicionamento da fonte de luz ou ao alinhamento das superfícies refletoras, corrigindo-as com base nos princípios físicos discutidos em sala; e, sobretudo, com suas justificativas teóricas, quando durante a análise, os estudantes foram capazes de explicar por que a imagem parecia estar “suspensa no ar”, recorrendo ao conceito de imagem virtual e à lei da reflexão para descrever o trajeto da luz do vídeo até os seus olhos. Essas atitudes mostram que os alunos não apenas seguiram instruções, mas tomaram decisões com base em seu entendimento dos conceitos físicos, o que caracteriza a autonomia na aplicação do conhecimento.

Tivemos ainda como resultado um maior desempenho na Atividade de Ensino, visto que os alunos foram instigados a resolverem situações problemas, foram

confrontados com problemas, o que se revelou bastante eficaz para o desenvolvimento do raciocínio crítico e da capacidade de resolver problemas. Embora não tenham sido perfeitos, os alunos foram capazes de enfrentar desafios e aplicar as estratégias ensinadas; bem como maior engajamento e reflexão, uma vez que com a metodologia de Sala de Aula Invertida, combinada com a abordagem PBL, incentivou os alunos a refletirem sobre o processo de aprendizagem. Ressaltamos ainda que o desenho e escritos no quadro de sala de aula facilitaram a compreensão do propósito do experimento e a conexão entre a teoria e a prática, melhorando a percepção dos alunos sobre a relevância dos conteúdos estudados. Pois, os resultados obtidos a partir da aplicação da Sequência Didática elaborada neste estudo, direcionada às turmas do segundo ano do Ensino Médio, Colégio POP, revelaram-se altamente positivos, expressivos e cientificamente relevantes, já que durante o processo investigativo, foi possível constatar, com base em evidências quantitativas e qualitativas, uma melhora significativa no desempenho dos estudantes nas avaliações relacionadas ao conteúdo de Óptica, componente curricular da disciplina de Física.

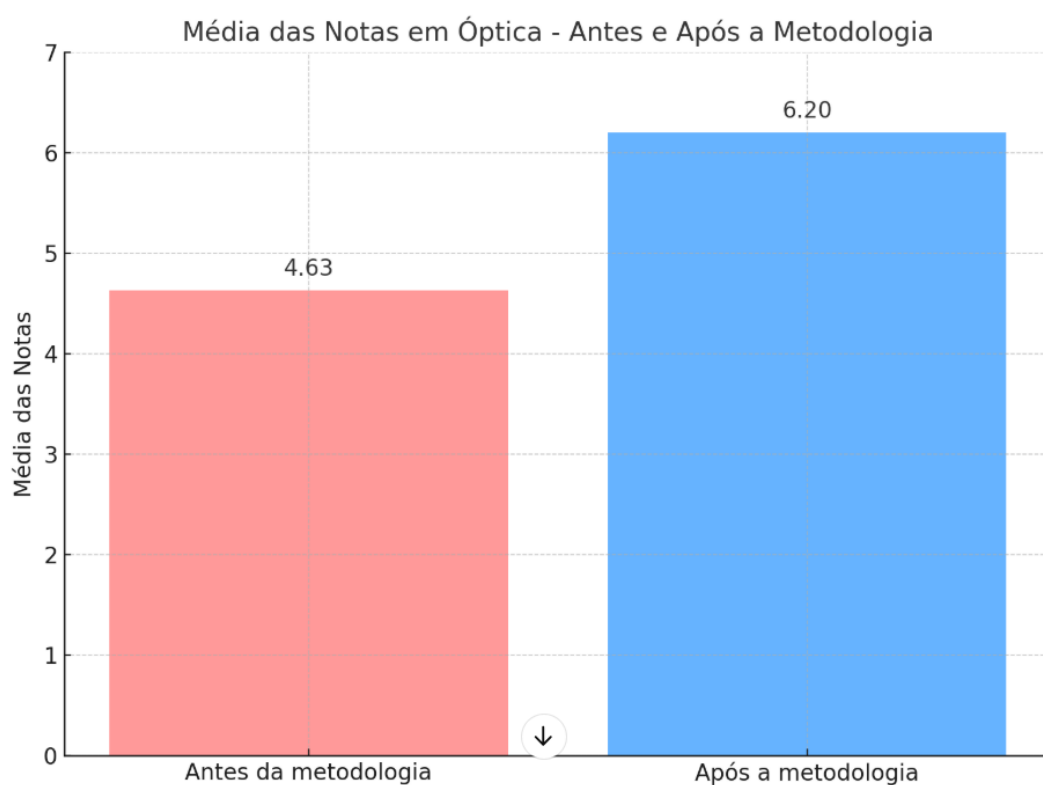
Figura 26 – Formação das imagens dos espelhos planos da pirâmide holográfica demonstrada no quadro da sala de aula.



Fonte: Elaboração do autor (2024).

Nesse sentido, relevamos de forma mais específica, observou-se um acréscimo considerável na média das notas dos discentes: antes da implementação da referida metodologia, a média geral era de 4,63, tendo como base as provas de avaliação mensal; após sua aplicação, essa média elevou-se para 6,2, como se demonstrou nas provas de avaliação bimestral. Tal aumento representa uma evolução substancial no desempenho acadêmico, indicando a eficácia da Sequência Didática aplicada nesse experimento que estamos a apresentar e defender.

Figura 27 – Gráfico de desempenho das notas dos alunos.

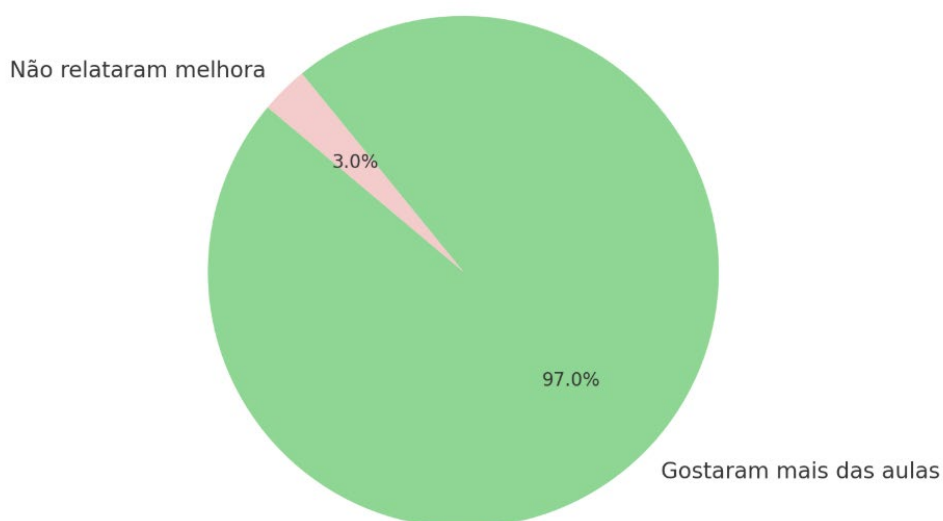


Fonte: Elaboração do autor (2024).

Não somente, ressaltamos que, adicionalmente, os dados obtidos por meio de instrumentos avaliativos de percepção, entrevista em grupo (geralmente usadas com uma amostra menor de participantes, tal como a nossa que foi uma única turma de segundo ano, permitindo explorar mais detalhadamente as respostas e sentimentos dos alunos), indicam que 97% dos estudantes relataram ter desenvolvido um maior interesse pelas aulas de Física após a introdução da nova metodologia,

evidenciando, assim, não apenas a melhoria cognitiva, mas também um impacto positivo na motivação e no engajamento dos alunos frente ao conteúdo trabalhado.

Figura 28 – Gráfico de desempenho de satisfação dos alunos.



Fonte: Elaboração do autor (2024).

Notoriamente, tivemos, enquanto resultado significativo da aplicação de nossa Sequência Didática, uma expressiva demonstração de autonomia e desenvolvimento dos alunos que participaram do experimento. A Sequência Didática desenvolveu a autonomia dos alunos, pois, eles tiveram a oportunidade de experimentar e aplicar o conhecimento de forma mais independente e criativa.

Com a integração de métodos, como em nossa Sequência Didática, com a integração da Sala de Aula Invertida com o PBL, tivemos um impacto positivo na aprendizagem, ao permitirmos que os alunos estudassem previamente os conceitos e aplicassem o conhecimento de maneira prática e reflexiva durante as atividades em sala de aula a partir da resolução de problemas.

Assim, damos relevo a todos esses resultados obtidos e descritos, todavia que eles indicam que a Sequência Didática adotada foi eficaz em promover a compreensão, a aplicação e a reflexão dos conceitos de Física, especialmente em relação ao conteúdo de óptica da disciplina de Física no Ensino Médio e os

conteúdos a ele inerentes, tais como reflexão da luz e espelhos planos, assim como, evidenciam que a metodologia utilizada a partir da Sequência Didática utilizada contribuiu para um aprendizado mais profundo e significativo.

## **2.6. Desafios e Dificuldades encontradas**

A aplicação do produto enfrentou desafios relacionados à diversidade de níveis de conhecimento prévio entre os alunos, o que exigiu adaptações durante a implementação da Sequência Didática. Além disso, a complexidade do conceito de enantiomorfismo e a novidade do uso da pirâmide holográfica demandaram um tempo adicional para que os alunos se familiarizassem com o material e as ideias apresentadas. Apesar dos resultados positivos, algumas dificuldades persistiram durante a aplicação da Sequência Didática. A principal delas foi a carência de fundamentos matemáticos necessários para a compreensão plena dos conceitos físicos, como o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão. Essa lacuna prejudicou a habilidade dos alunos em visualizar e compreender a relação entre os ângulos e a formação de imagens. A falta de um embasamento matemático adequado dificultou a compreensão da simetria e da correspondência dos ângulos, o que impactou a capacidade dos alunos de conectar esses conceitos com a formação de imagens nos espelhos planos.

Para compreender plenamente os conceitos relacionados aos espelhos planos e sua aplicação, os alunos precisam ter uma base sólida em vários embasamentos matemáticos. Aqui estão alguns dos principais fundamentos matemáticos que são relevantes: geometria, trigonometria, transformações geométricas, cálculo e álgebra, geometria analítica, visto que esses conceitos matemáticos fornecem a base necessária para entender como a luz é refletida em espelhos planos, como os ângulos de incidência e reflexão são iguais e como as imagens são formadas. A falta de compreensão desses fundamentos dificulta a capacidade dos alunos de aplicar corretamente os princípios da física relacionados à reflexão e à formação de imagens.

As dificuldades percebidas ocorreram naturalmente pela falta de base que os alunos da Educação Básica, em nosso caso nos referimos exclusivamente aos do

Ensino Médio, em deterem conhecimento, ainda que básico, dos conceitos pertinentes ao ensino da disciplina de Física, principalmente quando se trata dos conceitos básicos da Física, dentre os quais: reflexão onde se há uma aplicação matemática do ângulo de incidência com o ângulo de reflexão, então, essa falta de base realmente faz com que os alunos não vislumbrem que aquilo ali é uma imagem. A ausência de compreensão de conceitos básicos de Física foi certamente um grande obstáculo que tivemos que enfrentar, tratou-se de uma dificuldade expressiva para desenvolvimento de nossa Sequência Didática – sem sobra de dúvidas essa foi a mais acentuada e complexa dificuldade que enfrentamos.

Quando discorremos acerca dos conceitos fundamentais em Física, especialmente importantes no Ensino Médio, nos referimos áreas essenciais. Por exemplo, em mecânica, destacam-se as Leis de Newton, que definem os princípios básicos do movimento e das forças, e as leis da conservação, que incluem a conservação de energia, momento e massa. É crucial entender trabalho e energia, incluindo o trabalho realizado, a energia cinética e potencial, e a conservação da energia. Além disso, a relação entre força, massa e aceleração é fundamental para compreender o movimento dos objetos. Já na óptica, parte essencial e central neste trabalho e na formulação de nosso experimento de avaliação de nossa Sequência Didática, conceitos como reflexão e refração são básicos. As leis da reflexão determinam que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, enquanto a Lei de Snell descreve a refração da luz ao passar de um meio para outro. É importante também entender a formação de imagens em espelhos (planos e esféricos) e lentes (convexas e côncavas), e como esses dispositivos afetam a imagem formada. A dispersão da luz, como a formação de arco-íris e a dispersão através de prismas, também é um conceito relevante.

Trata-se de conceitos que formam a base para uma compreensão sólida da Física e são fundamentais para o desenvolvimento do conhecimento científico no Ensino Médio. Conceitos sem os quais, ausentes, tornam o ensino de Física e assunto que abordamos em nosso experimento, muito mais difícil de ser compreendido. Uma dificuldade imperiosa para o desenvolvimento de nosso experimento de aplicação de nossa Sequência Didática e apreensão do conteúdo a ser estudado pelos alunos participantes do experimento.

Além disso, no início do experimento, os alunos enfrentaram desafios para interpretar corretamente a projeção na pirâmide holográfica. A complexidade visual da holografia inicialmente gerou confusão, com alguns alunos tendo dificuldades para discernir as imagens projetadas. Contudo, a introdução e o aprofundamento dos conceitos relacionados à reflexão, simetria e enantiomorfismo, ajudaram os alunos a superarem essas dificuldades. Com a progressão das aulas e a aplicação prática dos conceitos, os alunos conseguiram entender que as quatro imagens projetadas eram formadas em sequência, uma em cima da outra, e não como uma holografia tridimensional.

A Sequência Didática, que combinou a metodologia de Sala de Aula Invertida e PBL, demonstrou sua eficácia ao proporcionar aos alunos uma base teórica prévia antes da aula presencial. Essa abordagem facilitou a compreensão dos conceitos avançados durante as atividades práticas. O sucesso da metodologia foi evidenciado pela capacidade dos alunos de reconhecer e compreender a formação das imagens ao final do experimento, refletindo a eficiência do processo de ensino-aprendizagem. No geral, apesar das dificuldades iniciais, a abordagem metodológica adotada contribuiu significativamente para a aprendizagem dos alunos, proporcionando uma experiência enriquecedora e eficaz na exploração dos conceitos de física relacionados aos espelhos planos.

A partir das dificuldades que encontramos na experiência que tivemos com nosso experimento, no qual aplicamos uma Sequência Didática de Metodologias Ativas de Aprendizado, a partir da ferramenta de Sala de Aula Invertida aplicando o PBL, destacamos algumas importantes observações a serem analisadas. Iniciamos enfatizando a importância de que o professor ofereça um suporte constante aos alunos durante todo o processo de aprendizagem, pois, ficou ainda mais evidente que a comunicação entre o professor e seus alunos é fundamental para garantir o sucesso no processo de ensino-aprendizagem. A avaliação deve ser contínua e formativa, com o objetivo de acompanhar o progresso dos alunos e oferecer *feedback* para que possam melhorar. Além disso, o professor deve promover um ambiente de aprendizagem colaborativo, onde os alunos se sintam à vontade para compartilhar dúvidas e dificuldades. Estratégias como grupos de estudo, discussões

em sala de aula e sessões de tutoria podem ajudar a criar uma rede de apoio que estimule a troca de conhecimentos e o aprendizado mútuo.

É imperativo, também, isso destacamos com certo entusiasmo, que o professor adapte suas abordagens pedagógicas às necessidades individuais dos alunos, considerando suas diversas formas de aprender; nesse sentido e nosso experimento é prova disto, as metodologias de Sala de Aula Invertida e PBL podem ser facilmente adaptadas a diversas realidades e necessidades apresentadas pelos alunos. O uso de diferentes métodos de ensino, recursos e materiais pode ajudar a atender a essas necessidades e a engajar todos os alunos no processo de aprendizagem, nossa Sequência Didática, por exemplo, como ficou demonstrado, é mais uma ferramenta que auxiliará nas práticas pedagógicas. Recordamos que o planejamento das atividades deve ser flexível, permitindo ajustes conforme as necessidades e o ritmo da turma. Como percebido e demonstrado a partir de nosso experimento, a inclusão de atividades práticas e interativas, que relacionem a teoria com a prática, pode facilitar a compreensão dos conceitos e estimular o interesse dos alunos. Assim, promover um clima positivo e motivador é crucial para manter os alunos envolvidos e comprometidos com seu aprendizado. Reconhecer e celebrar os progressos, por menores que sejam, ajuda a construir a confiança dos alunos e a incentivá-los a continuar se esforçando. O apoio contínuo e o *feedback* construtivo são ferramentas valiosas para guiar os alunos na construção do conhecimento e na superação dos desafios enfrentados ao longo do processo educativo.

Já em relação ao ensino de Física, isto é, da disciplina de Física do Ensino Médio da Educação Básica no Brasil, em virtude das dificuldades enfrentadas pelos alunos com os conceitos fundamentais da física, as quais já pontuamos anteriormente, várias observações importantes devem ser consideradas para melhorar o processo de ensino e aprendizagem, como por exemplo a realização de avaliação diagnóstica para identificar as lacunas de conhecimento dos alunos, essas avaliações ajudam a compreender quais conceitos básicos estão faltando e como isso afeta a compreensão dos temas mais avançados; apostar no reforço de conceitos básicos de Física, os que são fundamentais, antes de avançar para tópicos mais complexos, assegurando que os alunos tenham uma base sólida em conceitos como leis de Newton, a relação entre força e aceleração, e os princípios

básicos de óptica e termodinâmica, dentre outros; relacionar os conceitos de Física com situações do cotidiano para ajudar os alunos a visualizarem e entenderem melhor a aplicação prática desses mesmos conceitos, pois, exemplos práticos e problemas contextualizados podem tornar o aprendizado mais relevante e acessível.

Além do mais, adotar uma abordagem incremental no ensino, começando com conceitos mais simples e gradualmente introduzindo conceitos mais complexos, permitindo que os alunos construam sua compreensão de forma estruturada e sólida; utilização de recursos didáticos variados, como simulações, experimentos práticos e modelos visuais, pode ajudar os alunos a visualizarem e compreender conceitos abstratos. É sabido que a aplicação de tecnologias e ferramentas interativas podem facilitar a compreensão dos conceitos pelo alunos; considerar a importância das habilidades matemáticas na física é fundamental, portanto, devemos considerar, também, oferecer suporte adicional em matemática, como tutoria ou atividades de reforço, ajudando os alunos a aplicar fórmulas e resolver problemas físicos com mais eficácia; fornecer *feedback* contínuo e construtivo é importante para que os alunos saibam onde estão cometendo erros e como podem melhorar, logo, a análise das dificuldades e o acompanhamento individualizado podem ajudar na superação de obstáculos específicos; devemos considerar a implementação estratégias de ensino diversificadas, como a Sala de Aula Invertida e o Aprendizado Baseado em Problemas (PBL), proporcionando diferentes abordagens para a compreensão dos conceitos e engajar os alunos de maneiras variadas.

Devemos levar em consideração, também, para além de todos os pontos já explorados e sugeridos para análise, incentivar a autonomia dos alunos no processo de aprendizagem através de atividades que estimulem a pesquisa e a resolução de problemas de forma independente, fortalecendo a compreensão e a aplicação dos conceitos; avaliar constantemente a eficácia das abordagens didáticas e ajustar os métodos conforme necessário, pois, a reflexão sobre o que funcionou e o que não funcionou pode ajudar a otimizar o processo de ensino e aprendizagem. Enfim, devemos considerar essas observações, desenvolvidas levando em consideração o experimento da aplicação de nossa Sequência Didática, a partir do uso das metodologias de Sala de Aula Invertida e PBL, para que possamos enfrentar as

dificuldades dos alunos e melhorarmos a eficácia do ensino de Física, promovendo uma compreensão mais profunda e duradoura de seus conceitos fundamentais.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A presente pesquisa indica que a combinação da Sala de Aula Invertida, Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) e o uso inovador da pirâmide holográfica representa uma abordagem pedagógica altamente eficaz para o ensino de Óptica na disciplina de Física no Ensino Médio. Ressaltamos que a pirâmide holográfica, utilizada como ferramenta pedagógica central, não apenas captou a atenção dos alunos, mas também facilitou a compreensão de conceitos complexos, como as leis da reflexão e a formação de imagens. Esse recurso visual foi fundamental para transformar a abstração teórica em uma experiência de aprendizado tangível, despertando o interesse e motivação dos alunos, proporcionando a eles a oportunidade de explorar o conteúdo de forma autônoma, resolver problemas desafiadores e visualizar conceitos complexos por meio de recursos visuais. Seguramente podemos afirmar que a Sequência Didática proposta promoveu um aprendizado mais significativo e duradouro.

Os resultados obtidos, como o aumento do engajamento dos estudantes, a melhoria do desempenho nas avaliações e o desenvolvimento de habilidades essenciais para os desafios do século XXI, evidenciam o potencial dessa Sequência Didática para transformar a prática pedagógica, pois, com interação entre as metodologias de Sala de Aula Invertida e PBL, foi proporcionado um ambiente educacional de aprendizagem ativo e colaborativo, no qual os alunos puderam assumir um papel mais protagonista em seu processo de aprendizagem. Sendo a Sala de Aula Invertida, ao preparar os alunos previamente, responsável por permitir que eles chegassem às aulas presenciais com uma base teórica sólida, prontos para explorar e aplicar os conceitos de forma prática; e, sendo a metodologia PBL, por sua vez, responsável por instigar e desafiar os alunos a resolverem problemas complexos e a trabalharem em equipe, desenvolvendo habilidades essenciais como pensamento crítico, resolução de problemas e cooperação.

Os resultados obtidos através de nosso experimento de aplicação da Sequência Didática nas turmas de Ensino Médio foram extremamente positivos,

expressivos e significativos, à medida que, fazemos questão de registrar acerca dos resultados de nosso experimento, com a aplicação da nossa Sequência Didática, registramos um aumento significativo da média das notas nas avaliações de Óptica, comparado a antes da implementação da Sequência Didática proposta. Pois, passamos de 4,63 para 6,2 de média nas notas das avaliações de Física, com o conteúdo de Óptica. Além disso, 97% dos alunos relataram ter gostado mais das aulas de Física após a implementação da nova metodologia. Um aluno chegou a fazer o seguinte comentário: "As aulas ficaram muito mais interessantes e eu consigo entender melhor a matéria". Os resultados obtidos indicam que a combinação de Sala de Aula Invertida, PBL, tal qual proposto em nossa Sequência Didática, junto a utilização de recursos como a pirâmide holográfica, é uma estratégia promissora para o ensino de Física. São resultados realmente animadores e que nos faz transbordar de esperanças em sua disseminação e aplicabilidade, pois, apresentou um aumento significativo na compreensão dos conceitos de Óptica e no engajamento dos alunos na disciplina de Física. Assim, registrou-se que as médias das notas nas avaliações melhoraram consideravelmente, e o feedback dos alunos foi majoritariamente positivo, evidenciando o impacto positivo da metodologia aplicada. Comentários como "As aulas ficaram muito mais interessantes e eu consigo entender melhor a matéria" ilustram como essa abordagem transformou a experiência de aprendizado.

Nosso experimento também revelou a importância da formação continuada dos professores para a implementação eficaz dessas estratégias e a necessidade de mais pesquisas para aprofundar o entendimento sobre o impacto a longo prazo e a generalização dos resultados para outros contextos. Uma boa notícia, com certeza, demonstrada em nosso experimento e por esta pesquisa, é que a utilização da pirâmide holográfica como recurso didático mostrou-se um diferencial, facilitando a visualização de conceitos abstratos e despertando o interesse dos alunos, o que sugere que a combinação de Metodologias Ativas e recursos tecnológicos podem e devem ser ferramentas poderosas para promover um ensino de ciências mais dinâmico, relevante e eficaz, contribuindo para a formação de cidadãos críticos e criativos.

A aplicação de nossa Sequência Didática, a qual combina Sala de Aula Invertida e PBL, tal qual apresentada em todo o decorrer desta pesquisa, fazendo uso da pirâmide holográfica como ferramenta pedagógica, demonstrou, também, que é possível a imersão dos alunos em atividades práticas, a partir de resolução de problemas desafiadores, aliados à autonomia proporcionada pela Sala de Aula Invertida, estimulando a curiosidade e a construção do conhecimento de forma significativa. Como descritos anteriormente, os resultados obtidos indicam um aumento do engajamento dos estudantes, maior compreensão dos conceitos de óptica e desenvolvimento de habilidades como análise crítica e trabalho em equipe.

A experiência com nossa proposta de Sequência Didática, utilizando Sala de Aula Invertida e PBL, revelou o grande potencial dessas metodologias para tornar o ensino de Física mais dinâmico e interessante. Destacamos, novamente e veementemente, o quanto a pirâmide holográfica, enquanto recurso visual, contribuiu para a visualização dos fenômenos ópticos e a motivação dos alunos e, conseqüentemente, para a efetivação e aplicação das Metodologias Ativas de Aprendizagem que foram utilizadas simultaneamente de forma complementar uma à outra, uma constante interação mútua da Sala de Aula Invertida e PBL. Portanto, apesar das dificuldades que anteriormente foram apresentadas, os resultados obtidos indicam que a combinação dessas metodologias pode ser uma alternativa promissora para o ensino de Física e, abusando do otimismo científico, promissora também para as demais disciplinas do Ensino Médio, na verdade, trata-se de uma experiência promissora para a Educação como um todo, demonstrando-se uma como mais uma importante ferramenta didática-pedagógica disponível para professores de todo o Brasil e do mundo.

Destarte, pontuamos ainda que a implementação de nossa Sequência Didática, junto ao uso da pirâmide holográfica, como estamos ficou demonstrado, evidencia a importância de diversificar as metodologias de ensino e de se proporcionar aos alunos experiências de aprendizagem mais significativas. A Sala de Aula Invertida e a PBL, quando utilizadas em conjunto, tal qual proposto e aplicado em nosso experimento da nossa Sequência Didática, podem promover um aprendizado mais ativo e colaborativo, além do desenvolvimento habilidades essenciais para os dias atuais.

Ademais, ainda é preciso ressaltar que os resultados de nosso experimento sugerem que a formação continuada dos professores é fundamental para a implementação eficaz dessas metodologias e para a utilização de recursos tecnológicos como a pirâmide holográfica e tantos outros, variados, múltiplos e incontáveis, recursos tecnológicos em nossa realidade rodeada por tecnologias, realidade de docentes e discentes que são inerentes, atualmente, a utilização de recursos tecnológico. Por isso que advogamos, sob a égide dos resultados de nossa pesquisa e seus apontamentos, que precisamos conciliar nossas práticas didáticas-pedagógicas e os recursos tecnológicos, tais como apresentados neste trabalho, a exemplo da pirâmide holográfica e sua utilização em sala de aula, sustentados teoricamente e empiricamente nas novas e promissoras Metodologias Ativas de Aprendizagem, em especial, a decorrente do modelo de educacional denominado por Ensino Híbrido, através de seu recurso de Sala de Aula Invertida, e a baseada em Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL).

Todavia, temos o cuidado e zelo científico de alertar que são necessárias mais pesquisas para investigar o impacto a longo prazo e que se faz necessário cuidados com a generalização dos resultados para outras turmas, conteúdos, disciplinas e escolas. Futuras pesquisas podem investigar o impacto a longo prazo dessa metodologia e sua aplicação em outras áreas do conhecimento e a adaptação para diferentes níveis de escolaridade

Não obstante, ainda que já tenhamos descrito por demais a importância de da utilização de recursos tecnológicos na prática pedagógica, como o caso de nosso experimento com a utilização da Pirâmide Holográfica e toda sua importância para o desenvolvimento de nossa Sequência Didática, ainda assim, também precisamos destacar que a utilização da Pirâmide Holográfica como recurso didático facilitou a entendimento, por parte dos alunos, de conceitos complexos, como as leis da reflexão e a formação de imagens, bem como auxílio o professor que demonstrou entusiasmo com o uso desse recurso tecnológico que facilitou sua explicação do assunto em questão.

Apesar das dificuldades iniciais enfrentadas, especialmente relacionadas à falta de embasamento prévio em conceitos matemáticos fundamentais, como

descrito neste trabalho, o suporte contínuo do professor e a adaptação das estratégias pedagógicas permitiram que os alunos superassem esses desafios – no final, a experiência foi enriquecedora tanto para os estudantes quanto para o docente, demonstrando que metodologias ativas, como a Sala de Aula Invertida e PBL, podem ser altamente eficientes na promoção de um aprendizado significativo e na formação de um entendimento mais profundo e duradouro dos conteúdos científicos, pois, a abordagem proposta, centrada na inversão do processo de aprendizagem e na resolução de problemas, permitiu que os alunos assumissem um papel mais ativo e reflexivo em seu aprendizado, fossem protagonistas no processo de ensino-aprendizagem ao qual estão inseridos e são dele participantes essenciais, sem os quais não há educação. O sucesso desta experiência também dependeu de um suporte contínuo do professor, que, como já mencionado, precisou adaptar as estratégias pedagógicas para superar as dificuldades iniciais relacionadas à falta de embasamento matemático dos alunos.

A avaliação contínua e o feedback constante foram cruciais para ajustar o processo e garantir que todos os alunos pudessem acompanhar o conteúdo e vivenciassem a implementação desta Sequência Didática, com a utilização combinada de Sala de Aula Invertida e PBL, aliada ao uso inovador da pirâmide holográfica, a qual, como já mencionamos, mas, mais uma vez reforçamos, sob o risco de sermos repetitivos, demonstrou ser uma estratégia poderosa e promissora para o ensino de Física no Ensino Médio, uma vez que esta experiência não só atingiu os objetivos propostos, como também se mostrou um recurso eficaz para futuras iniciativas pedagógicas, uma vez que, além de captar a atenção dos estudantes, proporcionou uma visualização concreta dos conceitos teóricos, como as leis da reflexão, a simetria de imagem, e o enantiomorfismo, dentre outros; contribuindo para a construção de uma educação mais inovadora, inclusiva e interagindo diretamente com as demandas da sociedade atual, isto é, tecnologicamente referenciada e conectada. Nesse sentido, advogamos que a continuidade de pesquisas nesse campo pode revelar ainda mais potencialidades dessa abordagem, explorando seu impacto a longo prazo e sua aplicação em diferentes áreas do conhecimento e, por que não, para outros, como já dito, níveis de escolaridade.

Porém, como descrevemos no decorrer deste trabalho, e enfatizamos novamente nestas considerações finais, foram observadas algumas dificuldades em nosso experimento, no processo de aplicação de nossa Sequência Didática, especialmente as relacionadas à falta de um embasamento sólido em conceitos matemáticos fundamentais, o que inicialmente limitou a capacidade dos alunos de aplicar corretamente as leis físicas abordadas. No entanto, a metodologia aplicada e que foi proposta por nossa Sequência Didática, que incluiu a desde preparação prévia dos estudantes, através da Sala de Aula Invertida, mostrou-se eficaz em mitigar essas dificuldades ao longo do processo.

Dito isso, registramos que o experimento evidenciou a importância de um planejamento cuidadoso e de uma execução flexível, onde a avaliação contínua e o feedback constante foram e são essenciais para o sucesso da experiência com nossa proposta de Sequência Didática, visto que, os alunos não só conseguiram dominar os conceitos de Óptica como também desenvolveram habilidades importantes, como o pensamento crítico, a resolução de problemas e a capacidade acentuada de trabalhar colaborativamente em grupo. Assim, asseguramos, tal como os resultados obtidos nos permitem, que a aplicação das metodologias de Sala de Aula Invertida e PBL, aplicadas juntas, simultaneamente e concomitantemente, neste caso em tela, aliada ao uso inovador da Pirâmide Holográfica, não apenas atingiu os objetivos propostos, mas também demonstrou ser uma estratégia poderosa para o ensino de Física no Ensino Médio; servindo como um modelo promissor para futuras iniciativas pedagógicas, mostrando que é possível transformar a sala de aula em um ambiente dinâmico e estimulante, onde os alunos são protagonistas de seu próprio aprendizado. Tratou-se de um passo importante na construção de uma educação mais inovadora, inclusiva e conectada com as demandas da sociedade atual.

## 6. REFERÊNCIAS

ABRANTES, A.A.; MARTINS, L.M. A produção do conhecimento científico: A produção do conhecimento científico: relação A produção do conhecimento científico: sujeito-objeto e desenvolvimento do pensamento. **Interface - Comunic., Saúde, Educ.**, v.11, n.22, p.313-25, mai/ago, 2007.

ALARCON, D. F. **Diretrizes para práticas de gestão do conhecimento na educação a distância** (Tese de Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Óptica geométrica**. [Ilustração]. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/optica-geometrica.htm>>. Acesso em: 19 nov. 2024.

ALARCÃO, I; TAVARES, J. **Supervisão da prática pedagógica**. Coimbra: Edições Almedina, 2013.

ARAÚJO, E; SCHIVANI, M. **Pirâmide “Holográfica”: uma introdução ao estudo da óptica no Ensino Fundamental**. Natal: NMPEF, 2018.

BAGNATO, S. **Laser e suas Aplicações em Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

BATISTA, F. Governo que aprende: gestão do conhecimento em organizações do executivo federal, 2004. Recuperado de [https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4602](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=4602)

BACICH, L; MORAN, J.M. **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. Porto Alegre: Penso, 2018.

BACICH, Lilian; TANZI NETO, Antônio; TREVISANI, Fernando Martins. **Educação híbrida: personalização e tecnologia na educação**. Porto Alegre: Penso Editora, 2015.

BEHRENS, M. A. Paradigma da complexidade na prática pedagógica dos professores universitários: inovações epistemológicas e tecnológicas para ensinar e para aprender. **Didática e a prática de ensino: diálogos sobre a escola, a formação de professores e a sociedade** (p. 1-17). Fortaleza, CE: UECE, 2015.

BERGMANN, J; SAMS, A. **Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem**. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2016.

BORN, Max; WOLF, Emil. **Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light**. 7. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

BRANDÃO, H. **Problematizando o ensino Híbrido**. Goiânia: Phillos Academy, 2021.

CHEN, Y; JANG, S. J. Sala de aula invertida e Aprendizado Baseado em Problemas: Uma revisão sistemática da literatura. **Educational Technology & Society**, 23(4), p. 143-156, 2020.

DAL FORNO, L. F. Gestão do conhecimento escolar: girando a ampulheta para escolas inovadoras. In C. H. Menegassi, F. Bortolozzi, N. Tenório, & R. Sartori (Orgs.), **Gestão do Conhecimento nas Organizações** (p. 99-116). Jundiaí, SP: Paco Editorial, 2019.

DAVILA, G. A; FRAGA, B. D; DIANA, J. B; SPANHOL, F. J. O ciclo de gestão do conhecimento na prática: um estudo nos núcleos empresariais catarinenses. **International Journal Knowledge Engineering and Management**, 3(7), p. 43-64, 2015.

DAVÍDOV, V. **La enseñanza escolar y el desarrollo psíquico: investigación psicológica teórica y experimental**. Trad. Marta Shuare. Moscu: Progreso, 1988.

DAVYDOV, V. História do estabelecimento do sistema de ensino desenvolvimental (Sistema D. B. Elkonin - V. V. Davydov): primeira comunicação. **Vestnik**, Moscou, n. 1, 1996.

DAVYDOV, V. Problems of developmental teaching: the experience of theoretical and experimental psychological research. **Soviet Education**, New York, v. 30, n. 8, p. 3-97, 1988a.

DAVYDOV, V. Problems of developmental teaching: the experience of theoretical and experimental psychological research. **Soviet Education**, New York, v. 30, n. 9, p. 3-83, 1988b.

DAVYDOV, V. Problems of developmental teaching: the experience of theoretical and experimental psychological research. **Soviet Education**, New York, v. 30, n. 10, p. 2-75, 1988c.

DAVYDOV, V. Tipos de generalización en la enseñanza. 3 ed. Trad. M. Shuare. Habana: **Pueblo y Educación**, 1982.

DAVYDOV, V. What is real learning activity? In: HEDEGAARD, Mariane; LOMPSCHER Joachim (ed.). Learning activity and development. Aarhus: Aarhus University Press, 1999. p. 123-138.

DELIZOICOV, D. **Metodologia e Epistemologia em uma Concepção Integradora**. Florianópolis: UFSC, 2005.

ELKONIN, D. Enfrentando o problema dos estágios no desenvolvimento mental das crianças. Trad. Maria Luísa Bissoto. **Educar em Revista**, Curitiba, n. 43, p. 149-172, jan./mar. 2012.

ELKONIN, D. Sobre el problema de la periodización del desarrollo psíquico en la infancia. In: SHUARE, Marta (org.) **La psicología evolutiva e pedagógica en la URSS: antología**. Moscou: Progreso, 1987.

FARIAS, P. A. M; MARTINS, A. L; CRISTO, C. S. Aprendizagem ativa na educação em saúde: percurso histórico e aplicações. **Revista Brasileira de Educação Médica**, 39(1), 143-156, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-52712015v39n1e00602014>

FLEER, M; HEDEGAARD, M. Children's development as participation in everyday practices across different institutions. **Mind, Culture, and Activity**, v. 17, n. 2, p. 149-168, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/242694039\\_Children's\\_Development\\_as\\_Participation\\_in\\_Everyday\\_Practices\\_across\\_Different\\_Institutions](https://www.researchgate.net/publication/242694039_Children's_Development_as_Participation_in_Everyday_Practices_across_Different_Institutions) Acessado em 12/03/2024.

FIORINI, D; ALMEIDA I; LAZARETTI, M; FORNO, L. Sala de aula invertida com aprendizagem baseada em problemas e orientação por meio de projeto, apoiada pela gestão do conhecimento. **Acta Scientiarum. Education**, v. 44, e53601, 2022.

FIORINI, D. B. **A sala de aula invertida e práticas de gestão do conhecimento: o planejamento de aulas para um curso de graduação presencial** (Dissertação de Mestrado). Centro Universitário de Maringá, Maringá, 2019

FRAGNITO, H; COSTA, A. **Difração da luz por fendas**. Campinas: Unicamp-IFGW, 2010.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia: Saberes Necessários à Prática Educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREITAS, R. A; LIBÂNEO, J. C. Didática desenvolvimental e políticas educacionais para a escola no Brasil. **Linhas Críticas**, Brasília, DF, v. 24, e21850, p. 367-387, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/linhascriticas/article/view/21850/20629> acessado em: 19/05/2024.

FREITAS, R. A; LIBÂNEO, J. C. O experimento didático formativo na perspectiva da teoria do ensino desenvolvimental. **Educ. Pesqui.**, São Paulo, v. 48, 2022.

GOMES, J. **Desvendando os Hologramas**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010.

GOMES, R. M; BRITO, E; VARELA, A. Intervenção na formação no ensino superior: a aprendizagem baseada em problemas (PBL). **Interacções**, 12(42), p. 44-57, 2016. DOI: <https://doi.org/10.25755/int.11812>

KRAPAS, S. O tratado sobre a luz de Huygens: comentários. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 28, n. 1: p. 123-151, abr. 2011.

KOPNIN, P.V. **A dialética como lógica e teoria do conhecimento**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1978.

HALLIDAY D; RESNICK, R; WALKER, J. **Fundamentos de Física 4**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, 1996.

HEDEGAARD, Mariane. The development of children's conceptual relation to the world, with focus on concept formation in preschool children's activity. In: DANIELS, Harry; COLE, Michael; WERTSCH, James (ed.). **The Cambridge Companion to Vygotsky**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

HEDEGAARD, M. A zona de desenvolvimento proximal como base para o ensino. In: DANIELS, H. (Org.). **Uma introdução a Vygotsky**. Trad. Marcos Bagno. São Paulo: Edições Loyola, 2002.

HEDEGAARD, M; FLEER, M. **Studying children: a cultural-historical approach**. London: Open University Press, 2008.

HEDEGAARD, M. Children's perspectives and institutional practices as keys in a wholeness approach to children's social situations of development. **Learning, Culture and Social Interaction**, London, v. 26, p. 1-9, 2020. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210656118301028>> Acessado em 23/07/2024.

HEDEGAARD, M; CHAIKLIN, S. Radical-local teaching and learning: a cultural-historical approach. **Aarhus**: Aarhus University Press, 2005.

HEDEGAARD, M. **The educational experiment**. In: HEDEGAARD, Mariane; FLEER, M. Studying children: a cultural-historical approach. London: Open University Press, 2008.

HERTZ, H. **Electric Waves: Being Researches on the Propagation of Electric Action with Finite Velocity Through Space**. Londres: Macmillan and Co, 1893.

HONÓRIO, H. L. G. Sala de aula invertida: uma abordagem colaborativa na aprendizagem de matemática – estudos iniciais. In **Anais do 20º Encontro Brasileiro de Estudantes de Pós-Graduação em Educação Matemática** (p. 1-12). Curitiba, 2016.

HUYGENS, C. **Tratado sobre a luz**. Chicago: University of Chicago Press, 1960.

MANGILI, A. **Heinrich Rudolph Hertz e o Efeito Fotoelétrico**. São Paulo: PUC, 2011.

MEDEIROS, A. A história e a física do fantasma de Pepper. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 329–345, 2008.

MOURA, M. O. A atividade de ensino como unidade formadora. **Revista Bolema**, 2(12), 29-43, 1996.

MUNHOZ, A. S. **Vamos inverter a sala de aula?** Joinville, SC: Clube de Autores, 2015.

NEWTON, I. **Óptica**. São Paulo: Edusp, 1996.

NUSSENZVEIG, Moysés. **Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade, Física Quântica**. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 1998.

REIS, M. S.; PENA, N. Metodologias ativas como mediação pedagógica no ensino superior. **Argumentos Pró-Educação**, 5, 1-30, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24280/10.24280/ape.v5.e557>

RIBEIRO, L. R. C. **Aprendizagem baseada em problemas (PBL)**. São Carlos, SP: UFSCar, 2010.

RIVINA, I. A organização de atividades coletivas e o desenvolvimento cognitivo em crianças pequenas. In: GARNIER, C. et al (Org.). **Após Vygotsky e Piaget: perspectiva social e construtivista**. Escola russa e ocidental. Trad. Eunice Gruman. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SAVIANI, D. **Escola e democracia**. São Paulo: Cortez/Autores Associados, 1984.

SCHIVANI, M; SOUZA, G; PEREIRA, E. Pirâmide “holográfica”: erros conceituais e potencial didático. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 40, nº 2, p. 2506, 2018.

SCHNEIDERS, L. A. **O método da Sala de Aula Invertida**. 1ª ed. Lajeado: Editora da Univates, 2018.

SILVEIRA, H; BADILLO, F. **Uma abordagem de Óptica Física e Física Moderna para Engenharia Ambiental**. São Carlos: EdUFSCar, 2011.

SILVA, F. W. O. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 151-61, 2007.

SILVA, F. W. O. A teoria da luz de Newton nos textos de Young. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, p. 1601-1608, 2009.

SOARES, O. **Holografia: Princípios e Aplicações**. Porto: Laser Portugal, 1986.

SOUZA, G; PEREIRA, E. Pirâmide “holográfica”: erros conceituais e potencial didático. **Rev. Bras. Ensino Fís.** 2018. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0186>>. Acessada em 07/08/2023.

SOUZA, A; SILVA, L; HUGUENIN, J; BALTHAZAR, W. Discutindo a natureza ondulatória da luz e o modelo da óptica geométrica através de uma atividade experimental de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p.1-6, 2015.

SCHIVANI, M; SOUZA; G; PEREIRA, E. Pirâmide “holográfica”: erros conceituais e potencial didático. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 40, n. 2, 2018.

SCHMITZ, E. X. S. **Sala de Aula Invertida: uma abordagem para combinar metodologias ativas e engajar alunos no processo de ensino-aprendizagem**. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Educacionais em Rede. Universidade Federal de Santa Maria. Dissertação (Mestrado), 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/12043>. Acessado 25/07/2023.

SUHR, I. R. F. Desafios no uso da sala de aula invertida no ensino superior. **Revista Transmutare**, 1, p. 4-21, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3895/rtr.v1n1.3872>

VALENTE, J. A; ALMEIDA, M. E. B; GERALDINI, A. F. S. Metodologias ativas: das concepções às práticas em distintos níveis de ensino. **Revista Diálogo Educacional**, 17(52), p. 455-478, 2017.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1989.

PORTAL DO DOG. **Será que os cachorros conseguem reconhecer seu reflexo em um espelho?** 2024. Disponível em: <https://www.portaldodog.com.br/noticias-sobre-cachorros/sera-que-os-cachorros-conseguem-reconhecer-seu-reflexo-em-um-espelho/> Acesso em: 24 nov. 2024.

DESCOMPLICA. **Extensivo ENEM: espelhos planos**. 2024. Disponível em: <https://dex.descomplica.com.br/enem/fisica/extensivo-enem-espelhos-planos/explicacao/1.>> Acesso em: 24 nov. 2024.

MEDEIROS, H. F. **As ilusões ópticas e o ensino de ciências**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 330-341, 2008. Disponível em: <https://www.sbfisica.org.br>. Acesso em: 24 nov. 2024.

SCHIVANI, A. C. R.; SOUZA, R. M.; PEREIRA, L. R. **Pirâmide “holográfica”: erros conceituais e potencial didático**. *Revista de Educação em Ciências*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 3, p. 1-12, 2018. Disponível em: <https://www.educacaociencias.ufrj.br>. Acesso em: 24 nov. 2024.

OS FUNDAMENTOS DA FÍSICA. **Cursos do blog: Termologia, óptica e ondas**. 30 jul. 2019. Disponível em: [https://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2019/07/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas\\_30.html](https://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2019/07/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas_30.html). Acesso em: 24 nov. 2024.

ZABALA, A. **A prática Educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1

 **ATIVIDADE – 3º BIMESTRE – 2024**

Bimestre: **3º BIMESTRE**

Disciplina: **Física**

Professor: **Philippe Alves**

Nome:

Turno: ☐ Matutino ☐ Vespertino

Série/Ano: **2ª SÉRIE- E.M.**

Data:     /     /

Após assistir a videoaula sobre Espelhos Planos, resolver as questões a seguir.

1) Qual o fenômeno físico predominante nos Espelhos Planos?

2) Qual as características da imagem, formada nos Espelhos Planos?

3) O que seria uma imagem enantiomorfa?

4) Explique a simetria existente entre o objeto e a imagem formada no Espelho Plano.

## Anexo 2

06/09/24, 09:59

Atividade

### Atividade

Após assistir a vídeo aula sobre Espelhos Planos, resolver as questões a seguir.

hugobrandao2020@gmail.com [Mudar de conta](#)



Não compartilhado

\* Indica uma pergunta obrigatória

Nome \*

Sua resposta

E-mail \*

Sua resposta

Qual o fenômeno físico predominante nos Espelhos Planos? \*

Sua resposta

Qual as características da imagem, formada nos Espelhos Planos? \*

Sua resposta



[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd5PgbsfksXjqaIOHJghKog3Gw9KKh0\\_It3o\\_oSnXJgmYxNQ/view/form](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd5PgbsfksXjqaIOHJghKog3Gw9KKh0_It3o_oSnXJgmYxNQ/view/form)

1/3

06/09/24, 10:00

Atividade

O que seria uma imagem enantiomorfa? \*

Sua resposta

Explique a simetria existente entre o objeto e a imagem formada no Espelho Plano. \*

Sua resposta

Enviar

Limpar formulário

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Política de Privacidade](#)

Google Formulários



[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd5PgbsfksXjqaI0HJghKog3Gw9KKh0\\_It3o\\_oSnXJgmtYxNQ/view/form](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd5PgbsfksXjqaI0HJghKog3Gw9KKh0_It3o_oSnXJgmtYxNQ/view/form)

2/3

### Anexo 3



## ATIVIDADE – 3º BIMESTRE – 2024

Bimestre: **3º BIMESTRE**

Disciplina: **Física**

Professor: **Philippe Alves**

Nome: \_\_\_\_\_

Turno: ☐ Matutino ☐ Vespertino

Série/Ano: **2ª SÉRIE- E.M.**

Data:     /     /

Após aplicação da Sequência Didática sobre a Pirâmide Holográfica, resolver as questões a seguir.

- 1) Explicar o quanto a simetria que o Espelho Plano promove entre objeto e imagem, é importante na construção da imagem.

---

---

---

---

---

- 2) Desenhar e justificar a formação da imagem de um **objeto pontual** num Espelho Plano.

---

---

---

---

---

- 3) Desenhar e justificar a formação da imagem de um **objeto extenso** num Espelho Plano.

---

---

---

---

---

- 4) Explicar o quanto o Enantiomorfismo, as Leis da Reflexão da Luz e a simetria do Espelho Plano entre objeto e imagem, justificam a sobreposição entre as 4 imagens geradas na Pirâmide Holográfica, dando a impressão da Holografia. Caso julgue necessário, fazer o desenho justificando.

---

---

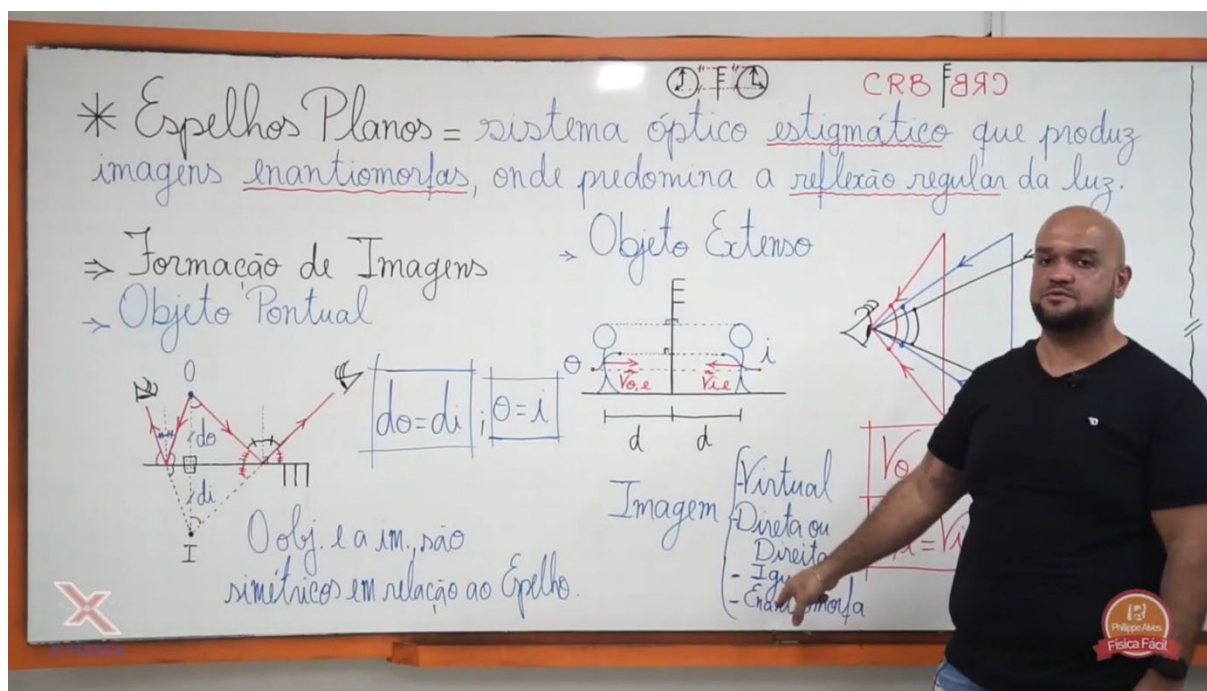
---

---

---

## Anexo 4

Figura 26- Ilustração quadro com espelhos



Fonte: elaboração do autor.

LINK: <https://youtu.be/FD-jfpSDjk4>

## Anexo 5



### Termo de Consentimento para Participação em Atividade Educacional

Prezado(a) Senhor(a):

Eu, Philippe Alves Silva, aluno do programa do Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), estou conduzindo uma pesquisa para minha dissertação. O objetivo desta pesquisa é a aplicação do meu produto educacional.

#### Autorização e Consentimento:

Ao assinar este termo, você consente que seu filho(a), \_\_\_\_\_, participe da atividade educacional descrita acima. Você está ciente de que a atividade faz parte de um estudo de mestrado e autoriza a coleta de dados necessários para a pesquisa. Estes dados serão utilizados exclusivamente para fins acadêmicos e serão tratados com total confidencialidade.

Você também concorda que, em caso de emergência, a escola possa tomar as medidas necessárias para garantir a segurança e o bem-estar do seu filho(a). O Colégio Pop e eu, Philippe Alves Silva, comprometemo-nos a seguir todos os protocolos de segurança e a manter um ambiente seguro durante a atividade.

#### Confidencialidade:

Os dados coletados durante a atividade serão utilizados apenas para a dissertação de mestrado e não serão divulgados de forma individual. A identidade dos participantes será protegida e nenhuma informação pessoal será divulgada fora do contexto da pesquisa.

#### Assinatura:

Assinatura: \_\_\_\_\_

#### Contato para Dúvidas:

Caso tenha alguma dúvida ou precise de mais informações, por favor, entre em contato comigo pelo telefone (82-99949-8989) ou pelo e-mail (philippe.fisica@hotmail.com), ou com a escola pelo telefone (82-3521-5927).

Agradeço imensamente sua colaboração e compreensão.

Atenciosamente, Philippe Alves Silva.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA  
POLO 36

Philippe Alves Silva

**PRODUTO EDUCACIONAL**

SEQUÊNCIA DIDÁTICA EXPLORANDO O ENSINO DO FUTURO:  
SALA DE AULA INVERTIDA, APRENDIZADO BASEADO EM PROBLEMAS E  
PIRÂMIDE HOLOGRÁFICA NO ENSINO MÉDIO

Maceió

2025

Philippe Alves Silva

SEQUÊNCIA DIDÁTICA EXPLORANDO O ENSINO DO FUTURO:  
sala de aula invertida, aprendizado baseado em problemas e pirâmide holográfica no ensino  
médio

Este produto educacional é parte integrante da dissertação de mesmo título, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 36 – IF/UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(es):

Orientador Dr. Elton Malta Nascimento

Coorientador Dr. Hugo Brandão

Maceió

2025

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que me fortaleceram e confiaram em mim durante esse árduo percurso acadêmico: professores, amigos e, sobretudo, minha família.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

## **Sumário**

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Apresentação .....</b>                                                          | <b>5</b>  |
| <b>1. Fundamentação teórica .....</b>                                              | <b>7</b>  |
| <b>2. Passo a passo da Sequência Didática Completa.....</b>                        | <b>9</b>  |
| <b>1.1. Objetivos de Aprendizagem.....</b>                                         | <b>9</b>  |
| <b>1.2. Estrutura da Sequência Didática .....</b>                                  | <b>10</b> |
| <b>1.2.1. Fase 1: Pré-Aula (Sala de Aula Invertida) .....</b>                      | <b>10</b> |
| <b>1.2.2. Fase 2: Aula Presencial (Introdução ao PBL e Atividade Prática).....</b> | <b>11</b> |
| <b>1.2.3. Fase 3: Pós-Aula (Reflexão e Avaliação) .....</b>                        | <b>12</b> |
| <b>3. Recursos e Materiais Necessários.....</b>                                    | <b>13</b> |
| <b>Considerações Finais .....</b>                                                  | <b>13</b> |
| <b>Referências .....</b>                                                           | <b>15</b> |

## Apresentação

O desenvolvimento de produtos educacionais no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) é uma atividade obrigatória que exige rigor acadêmico e aplicabilidade prática, neste sentido, a proposta apresentada neste documento, intitulada “Pirâmide Holográfica como Prática Pedagógica: Uma Inovação na Compreensão da Óptica Geométrica”, segue essas diretrizes, priorizando a criação de um material autossuficiente, acessível a professores interessados em adotar a metodologia proposta, isto é, a Sequência Didática que estamos a apresentar enquanto produto educacional, independentemente de consulta à dissertação que o originou, pois, a dele foi planejada para garantir sua autonomia. Sequência Didática baseada no modelo de Sala de Aula Invertida e PBL, utilizando a Pirâmide Holográfica como recurso pedagógico em turmas do Ensino Médio.



Nossa Sequência Didática foi desenvolvida para abordar os princípios da Óptica, com foco em leis de reflexão e formação de imagens, utilizando uma pirâmide holográfica como ferramenta didática central.

Assim, destacamos que nosso produto educacional, aqui exposto, trata-se de uma Sequência Didática clara, organizada em três fases distintas e interdependentes: Pré-Aula, Aula Presencial e Pós-Aula. Cada uma dessas etapas é acompanhada de detalhamento minucioso sobre objetivos, recursos necessários e atividades a serem conduzidas. Este

nível de especificidade permite que qualquer educador possa implementar a proposta sem necessidade de buscar informações adicionais.

Na Fase Pré-Aula, o produto educacional se destaca por integrar a metodologia de sala de aula invertida, orientando os professores na seleção e disponibilização de materiais multimodais. Textos explicativos, vídeos e exercícios interativos são sugeridos como recursos, permitindo que os alunos construam uma base teórica sólida antes da aula presencial. Ferramentas como fóruns online e quizzes automáticos reforçam o aprendizado autônomo, incentivando o engajamento prévio dos estudantes com os conceitos de Óptica.

A Fase de Aula Presencial adota a metodologia de aprendizagem baseada em problemas (Problem-Based Learning – PBL) para explorar a pirâmide holográfica. A abordagem prática promove a investigação científica colaborativa, com



atividades que envolvem experimentação e análise crítica. Detalhes sobre como conduzir a aula, desde a apresentação inicial do problema até o uso de roteiros de investigação e a elaboração de hipóteses, são fornecidos de forma a empoderar o professor no processo de mediação do aprendizado.

Na Fase Pós-Aula, o foco está na reflexão e avaliação. O produto orienta a condução de discussões reflexivas e a produção de relatórios pelos alunos, promovendo a autoavaliação e a consolidação do aprendizado. Critérios claros de avaliação são sugeridos, como participação, qualidade das análises apresentadas e capacidade de síntese. Essa etapa é essencial para garantir que o aprendizado se estenda além da sala de aula, valorizando o desenvolvimento de habilidades críticas e investigativas.

Ressaltamos ainda que fornecemos orientações práticas para a implementação da proposta, desde a organização dos materiais até dicas pedagógicas para facilitar a condução das atividades. A independência do produto é reforçada pela inclusão de um

guia detalhado para cada fase da sequência didática, tornando-o funcional como recurso didático autônomo.

Este produto educacional exemplifica o compromisso do MNPEF com a criação de materiais pedagógicos robustos e inovadores, podendo ser utilizado por outros professores do Ensino Médio como ferramenta eficaz para ensinar Óptica de forma prática, engajante e acessível, mesmo sem referências adicionais à dissertação original. A proposta evidencia o potencial transformador de práticas pedagógicas bem planejadas na formação de estudantes críticos e criativos.

## 1. Fundamentação teórica

A proposta de utilizar o Ensino Híbrido no formato de sala de aula invertida, aplicado ao Aprendizado Baseado em Problemas (PBL) com o uso da pirâmide holográfica, alinha-se com metodologias ativas que promovem protagonismo discente e aprofundamento no aprendizado.

A sala de aula invertida é caracterizada pela inversão do modelo tradicional de ensino: os estudantes acessam previamente conteúdos teóricos, geralmente por meio de materiais digitais, liberando o tempo em sala de aula para atividades práticas e colaborativas, como resolução de problemas e discussões. Essa abordagem, integrada ao PBL, coloca os alunos diante de desafios reais, permitindo que a aprendizagem seja mais contextualizada e significativa, particularmente no estudo da Física, que exige a aplicação prática de conceitos teóricos para uma compreensão robusta.



O PBL se destaca ao engajar os estudantes na resolução de problemas desafiadores, promovendo o desenvolvimento de habilidades críticas como análise, síntese e trabalho em equipe. No contexto do ensino de Física, essa metodologia permite que os alunos explorem fenômenos do cotidiano, como os relacionados à óptica, de forma prática e integrada. A pirâmide holográfica, enquanto ferramenta didática, adiciona um elemento visual e interativo ao ensino de conceitos como reflexão, refração e formação de imagens virtuais, utilizando uma estrutura de faces transparentes que reflete a luz de dispositivos eletrônicos para criar a ilusão de tridimensionalidade. Essa abordagem combina teoria e prática, ampliando o engajamento e a retenção dos alunos.

Destacamos que no ensino de óptica, a pirâmide holográfica oferece uma plataforma inovadora para explorar os fundamentos da reflexão e refração da luz. Através de sua construção, os alunos podem observar a interação da luz com diferentes superfícies e compreender os princípios da formação de imagens tridimensionais, mesmo que virtuais. Essa experiência sensorial facilita a aplicação dos conceitos abstratos da óptica em um ambiente prático, reforçando a aprendizagem por meio da experimentação e manipulação direta. A combinação da sala de aula invertida com o PBL potencializa o uso da pirâmide holográfica, oferecendo um modelo de ensino que promove autonomia e exploração ativa. A integração de metodologias ativas como a sala de aula invertida e o PBL com tecnologias educacionais, como a pirâmide holográfica, reflete a evolução das práticas pedagógicas na educação contemporânea. Essa abordagem atende à necessidade de tornar o ensino mais dinâmico e conectado às demandas dos estudantes, que muitas vezes carecem de motivação nos métodos tradicionais. No ensino de Física, a visualização de conceitos complexos através de recursos interativos como a pirâmide holográfica não apenas facilita a compreensão, mas também desperta o interesse e a curiosidade científica dos alunos, contribuindo para uma aprendizagem mais eficaz e significativa.

Portanto, a sequência didática proposta é uma estratégia inovadora que combina o uso de tecnologias interativas com metodologias ativas para transformar o ensino de Física no ensino médio. A sala de aula invertida proporciona aos alunos o tempo necessário para explorar conteúdos teóricos em seu ritmo, enquanto o PBL os desafia a aplicar esses conhecimentos em problemas reais, utilizando a pirâmide holográfica como suporte visual e experimental. Essa abordagem promove não apenas o aprendizado de

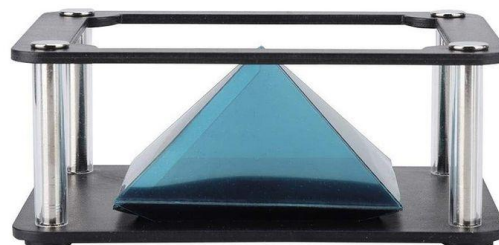
conceitos físicos, mas também o desenvolvimento de competências essenciais para o século XXI, como pensamento crítico, criatividade e colaboração.

Além dos aspectos didáticos e visuais, a sequência didática proposta enfatiza os cálculos e princípios específicos da Física, como a aplicação das Leis da Reflexão e Refração e o Princípio de Fermat para explicar a trajetória da luz na pirâmide holográfica. Os alunos são incentivados a calcular ângulos de incidência e reflexão, bem como a estimar índices de refração utilizando conceitos da óptica geométrica. Essas atividades reforçam o entendimento teórico e permitem uma compreensão aprofundada dos fenômenos envolvidos, ao conectar os conceitos abstratos com situações concretas e visualmente demonstráveis por meio da pirâmide holográfica.

## 2. Passo a passo da Sequência Didática Completa

Esta sequência didática foi projetada para desenvolver a compreensão profunda dos conceitos de Óptica, especialmente a formação de imagens em espelhos planos e as leis de reflexão. A estratégia pedagógica inclui três fases integradas, com foco na aplicação prática e sem protagonismo estudantil.

Com base no conteúdo analisado, aqui está a fundamentação teórica detalhada para o produto educacional descrito:



### 1.1. Objetivos de Aprendizagem

1. Compreender as leis de reflexão e sua aplicação na formação de imagens.
2. Analisar manifestações ópticas através de experimentos práticos.
3. Desenvolver habilidades de investigação, formulação de hipóteses e trabalho em equipe.

## **1.2. Estrutura da Sequência Didática**

A sequência didática é dividida em três fases principais:

1. Fase Pré-Aula (Sala de Aula Invertida)
2. Fase de Aula Presencial (Introdução ao PBL e Atividade Prática)
3. Fase Pós-Aula (Reflexão e Avaliação)

### **1.2.1. Fase 1: Pré-Aula (Sala de Aula Invertida)**

#### **Preparação do Material Didático**

- Selecione conteúdos multimodais que abordem os princípios da Óptica, incluindo:
  - Textos explicativos sobre as leis de reflexão e formação de imagens em espelhos planos.
  - Vídeos didáticos que demonstram experimentos relacionados à formação de imagens e aplicações de reflexão.
  - Exercícios práticos para a fixação dos conceitos básicos, como questionários interativos e atividades de simulação.
- Organize esses materiais em uma plataforma de aprendizagem, como o Google Sala de Aula, e disponibilize-os com antecedência.

#### **Comunicação e Motivação**

- Envie um comunicado claro aos alunos por meio da plataforma, explicando a importância da preparação prévia. Destaque a relevância dos conceitos para a atividade prática.
- Utilize ferramentas de engajamento, como fóruns de discussão online, onde os alunos podem compartilhar dúvidas e reflexões antes da aula.

#### **Monitoramento do Estudo Autônomo**

- Programa quizzes automáticos na plataforma para verificar se os alunos acessaram e compreenderam o material.
- Faça um acompanhamento ativo, respondendo às perguntas no fórum e incentivando a participação com perguntas solicitadas.

**Expectativa:** Os alunos chegam à aula com uma base teórica sólida, prontos para aplicar os conceitos em um experimento prático.

### 1.2.2. Fase 2: Aula Presencial (Introdução ao PBL e Atividade Prática)

#### Introdução ao PBL e Exploração do Conceito

- **Passo 1: Apresentação da Pirâmide Holográfica**

- Comece a aula com uma breve explicação sobre a pirâmide holográfica, sua estrutura e como ela será utilizada.
- Introduza uma problemática: “Como as imagens formadas em uma pirâmide holográfica são explicadas pelas leis da reflexão?”



- **Passo 2: Discussão Inicial**

- Divida a turma em grupos de 4-5 alunos. Cada grupo deve discutir e anotar suas hipóteses sobre como as imagens são formadas, relacionando com o conteúdo treinado.
- Instrua os grupos a formularem perguntas investigativas, como: “Qual é a trajetória da luz ao passar pelas faces da pirâmide?” ou “Como as leis da reflexão se aplicam em diferentes ângulos?”.

#### Atividade Prática (PBL)

- **Passo 3: Experimentação**

- Distribua as pirâmides holográficas e instrua os alunos a observarem a projeção das imagens em diferentes ângulos.

- Oriente-os a documentar suas observações detalhadamente, identificando as quatro imagens geradas pelas faces da pirâmide.
- Promova o uso de um roteiro de investigação, que pode incluir:
  - Registro de observações visuais (esboços e segurança).
  - Comparação dos resultados com as hipóteses iniciais.
  - Discussão em grupo sobre os achados.
- **Passo 4: Registro e Análise**
  - Cada grupo deve compilar suas descobertas em uma apresentação curta, abordando:
    - Explicação das observações à luz das leis de reflexão.
    - Reflexões sobre a validade das hipóteses e ajustes necessários.

### **1.2.3. Fase 3: Pós-Aula (Reflexão e Avaliação)**

#### **Discussão e Feedback**

- Reúna os grupos e conduza uma discussão geral na sala de aula. Peça que compartilhamos as descobertas e dificuldades encontradas.
- Intervenha com perguntas reflexivas, como: “Que adaptações na metodologia poderiam ser feitas para melhorar a experiência?”
- Forneça feedback construtivo, destacando pontos positivos e destacando melhorias na abordagem investigativa.

#### **Exercício de Reflexão Individual**

- Solicite aos alunos que elaborem um relatório de reflexão com as seguintes características:
  - Resumo da atividade prática, destacando os principais achados.
  - Autoavaliação, identificando o que aprenderam e os pontos em que tiveram dificuldades.
  - Propostas de melhoria, indicando adaptações ou novas abordagens para experimentos futuros.

#### **Avaliação de Aprendizagem**

- Avaliar o desempenho dos alunos por meio de:
  - Participação nas discussões e experimentos.
  - Qualidade do relatório de reflexão, observando a profundidade da análise e a capacidade crítica.



### 3. Recursos e Materiais Necessários

- **Para a Pré-Aula:** Vídeos explicativos, textos e exercícios online, Google Sala de Aula.
- **Para a Aula Presencial:** Pirâmides holográficas (uma por grupo), folhas de anotações, projetor (opcional).
- **Para a Pós-Aula:** Modelo de relatório de reflexão, questionário para autoavaliação.

#### Dicas para o Professor

- Mantenha o engajamento: faça perguntas estimulantes durante a apresentação dos grupos.
- Adapte a complexidade do material conforme a progressão dos alunos e suas necessidades.
- Facilite uma troca de experiências entre os grupos, para que aprendam com as diferentes abordagens.

Com esta sequência didática detalhada, você pode implementar uma experiência de aprendizagem que envolve os alunos ativos, promovendo a assimilação prática e colaborativa dos conceitos de Óptica.

### Considerações Finais

O produto educacional desenvolvido, Sequência Didática baseada no modelo de Sala de Aula Invertida e PBL, utilizando a Pirâmide Holográfica como recurso pedagógico em turmas do Ensino Médio, oferece uma abordagem didática inovadora para o ensino de Óptica, combinando teoria e prática em uma sequência didática cuidadosamente planejada. Para professores interessados em adotar as atividades e recursos propostos, é essencial compreender que a eficácia desta metodologia está na integração harmoniosa entre as três fases delineadas – Pré-Aula, Aula Presencial e Pós-Aula – e na promoção de uma aprendizagem ativa e colaborativa. O caráter autônomo do material permite sua aplicação direta, com recursos detalhados e de fácil adaptação a diferentes contextos escolares.

Destacamos a utilização da sala de aula invertida, parte da metodologia de Ensino Híbrido, como um diferencial importante desta proposta. Durante a Pré-Aula, os alunos têm acesso a recursos multimodais, como vídeos, textos explicativos e exercícios interativos, disponibilizados previamente por meio de plataformas digitais. Isso permite que cheguem à aula com uma compreensão inicial dos conceitos de reflexão e formação de imagens, prontos para aplicá-los em atividades práticas. Para os professores, essa abordagem reduz a necessidade de exposições teóricas extensas e possibilita dedicar mais tempo ao acompanhamento individual e ao estímulo ao pensamento crítico. Esse formato híbrido também é ideal para turmas heterogêneas, pois oferece flexibilidade para que cada estudante avance em seu ritmo durante a fase preparatória. Bem como, o uso da pirâmide holográfica, como ferramenta pedagógica, é um ponto de destaque desta proposta, pois proporciona uma vivência concreta dos conceitos de reflexão e formação de imagens em espelhos planos. Professores podem explorar a atividade prática como um ponto de partida para outras discussões em Óptica, ampliando o escopo do aprendizado e conectando-o a outros fenômenos ópticos. Além disso, a inclusão de estratégias baseadas em Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) fomenta o desenvolvimento de habilidades de investigação científica, raciocínio lógico e trabalho em equipe entre os alunos, aspectos indispensáveis para uma formação integral. É recomendável que o professor atue como mediador do processo investigativo, estimulando os estudantes a formular hipóteses e refletir sobre suas descobertas.

Este produto educacional, nossa Sequência Didática, permite adaptações para atender às necessidades de diferentes turmas e realidades educacionais. Professores

podem, por exemplo, modificar as atividades práticas para abordar outros conceitos de Física, como dispersão da luz ou princípios de óptica não-linear, ampliando as possibilidades de aplicação da pirâmide holográfica; da mesma forma, os recursos multimodais sugeridos podem ser complementados com materiais locais ou adequados ao nível de compreensão dos alunos, garantindo uma experiência pedagógica mais personalizada e relevante. A adoção dessas alternativas deve considerar os objetivos de aprendizagem da turma, mantendo a coerência metodológica do produto, pois, o alcance e a abrangência deste produto educacional ultrapassam a sala de aula, posicionando-o como um exemplo de inovação e acessibilidade no ensino de Física.

Enfim, por meio de nossa Sequência Didática, produto educacional que apresentamos, esperamos não apenas a compreensão aprofundada de conceitos ópticos, e sim, a valorização do aprendizado ativo, o qual coloca o estudante como protagonista de sua formação. Já em relação aos professores que se propuserem a utilizar este produto educacional, reforçamos a importância de realizarem adaptações ponderadas e refletirem constantemente sobre os resultados obtidos, buscando sempre potencializar o engajamento e a aprendizagem dos alunos.

Este fechamento não é apenas um ponto final, mas um convite a experimentar, aprimorar e compartilhar práticas pedagógicas que transformem o ensino em uma experiência marcante e significativa.

## Referências

DAVYDOV, V. Problems of developmental teaching: the experience of theoretical and experimental psychological research. **Soviet Education**, New York, v. 30, n. 9, p. 3-83, 1988b. FIORINI, D; ALMEIDA I; LAZARETTI, M; FORNO, L. Sala de aula invertida com aprendizagem baseada em problemas e orientação por meio de projeto, apoiada pela gestão do conhecimento. **Acta Scientiarum. Education**, v. 44, e53601, 2022. FREITAS, R. A; LIBÂNEO, J. C. O experimento didático formativo na perspectiva da teoria do ensino desenvolvimental. **Educ. Pesqui.**, São Paulo, v. 48, 2022. GOMES, J. **Desvendando os Hologramas**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010.

NUSSENZVEIG, Moysés. **Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade, Física Quântica**. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 1998.

SOUZA, G; PEREIRA, E. Pirâmide “holográfica”: erros conceituais e potencial didático. **Rev. Bras. Ensino Fís.** 2018. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0186>>. Acessada em 07/08/2023.

SCHMITZ, E. X. S. **Sala de Aula Invertida: uma abordagem para combinar metodologias ativas e engajar alunos no processo de ensino-aprendizagem. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Educacionais em Rede**. Universidade Federal de Santa Maria. Dissertação (Mestrado), 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/12043>. Acessado 25/07/2023.

SCHIVANI, A. C. R.; SOUZA, R. M.; PEREIRA, L. R. **Pirâmide “holográfica”: erros conceituais e potencial didático. Revista de Educação em Ciências**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 3, p. 1-12, 2018. Disponível em: <https://www.educacaociencias.ufrj.br>. Acesso em: 24 nov. 2024.