

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**RICHAR NICOLÁS DURÁN ANDRADES**

**SIMULAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA APLICADA  
NO ENSINO E APRENDIZAGEM DA FÍSICA MODERNA: DUALIDADE ONDA-  
PARTÍCULA/EFEITO FOTOELÉTRICO**

**PONTA GROSSA**

**2026**

**RICHAR NICOLÁS DURÁN ANDRADES**

**SIMULAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA APLICADA  
NO ENSINO E APRENDIZAGEM DA FÍSICA MODERNA: DUALIDADE ONDA-  
PARTÍCULA/EFEITO FOTOELÉTRICO**

**Immersive Virtual Reality Simulation Applied to the Teaching and Learning of Modern  
Physics: Wave–Particle Duality / Photoelectric Effect**

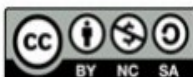
Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciência e Tecnologia, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Romeu Miqueias Szmoski.

Coorientador: Awdry Feisser Miquelin.

**PONTA GROSSA**

**2026**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Ponta Grossa



RICHAR NICOLÁS DURÁN ANDRADES

**SIMULAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA APLICADA  
NO ENSINO E APRENDIZAGEM DA FÍSICA MODERNA: DUALIDADE ONDA-  
PARTÍCULA/EFEITO FOTOELÉTRICO**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Ensino De Ciência E Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Ciência, Tecnologia e Ensino.

Data de aprovação: 09 de Março de 2026.

Dr. Romeu Miqueias Szmoski - Presidente - UTFPR

Dr. Awdry Feisser Miquelin - UTFPR

Dr. Eduardo Inocente Jussiani - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA (UEL)

Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves - UTFPR

Dra. Rosa Nidia Tuay Sigua - UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL - UPN

Dra. Sani De Carvalho Rutz Da Silva - UTFPR

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 09/03/2026.

Dedico esta tese a minha mãe Filomena e pai Eulogio<sup>+</sup> (In memoria), sendo minha fonte de energia, além de estar na distância, sempre recebi a melhores bênçãos. Minhas irmãs Vane, Rosma, Eliza e Fabi por serem essas pessoas especiais na minha vida, obrigado por tudo.

A minhas, sobrinhas/sobrinho, tios, primos, enfim a família Durán, por sempre acreditar em mim, em minhas fortalezas...

São todos meu melhor presente. Amo todos vocês até o infinito e além...

Richar Durán

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, as energias do Universo para eu chegar até este momento e permitir a realização de mais um objetivo pessoal e profissional tornando-me Doutor em Ensino de Ciências e Tecnologia.

A minha **Família Durán** que desde Venezuela enviaram sempre as melhores energias para continuar realizando meus sonhos de ser melhor profissional, que esta nova meta sirva de motivação para acreditar em nossos próprios esforços e sonhos.

A meu orientador professor **Dr. Romeu Miqueias Szmoski** e meu coorientador **Dr. Awdry Feisser Miquelin** por serem guia nesta caminhada profissional, muito obrigado por toda sua disposição carregada de muitos aprendizados.

A banca examinadora, muito obrigado pela sua disposição de fazer os aportes para tornar o trabalho de pesquisa em uma contribuição importante na área de ensino de Física. Muito obrigado.

Muito obrigado **Rodrigo Tribek** pela ajuda e atenção durante a leitura e ajuda com o português. Agradeço aos colegas que o Doutorado me deu, obrigado por compartilhar cada conhecimento, cada aprendizado, cada experiência de vida durante esse tempo.

Obrigado ao programa **PPGECT** por ter-me acolhido e poder fazer meu estudo nestes anos. Obrigado a todos os professores que formam parte do programa que sem dúvida deixam valiosos aprendizados. Gratidão sempre.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – (CAPES), código de financiamento 001 pelo auxílio financeiro por meio da bolsa concedida durante minha formação.

Finalmente, obrigado a todos aqueles que contribuíram com minha pesquisa e formação. Que o universo abençoe todos vocês.

“O que é o homem? Para Hegel, ele é um sujeito lógico.  
Para Pavlov, é uma soma, um organismo. Para nós,  
o homem é uma pessoa social: um agregado de  
relações, incorporadas em um indivíduo”  
Vygotsky - Psicologia Humana Concreta

## RESUMO

A presente tese investiga o impacto da implementação de uma simulação em Realidade Virtual Imersiva (RVI) no processo de ensino e aprendizagem dos conceitos de Dualidade Onda-partícula e Efeito Fotoelétrico no contexto da Física Moderna. Ancorado na perspectiva construtivista de Vygotsky, o estudo explora como a RVI, atuando como instrumento de mediação Pedagógico-Tecnológica pode potencializar a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) dos estudantes e, assim, superar a abstração inerente a esses conceitos através da articulação entre teoria e experimentação. O percurso metodológico adotou uma abordagem mista, estruturada em três fases. A Fase I consistiu em revisões bibliográficas sistemáticas (Metodi Ordinatio e protocolo PRISMA 2020) para mapear o uso da RVI no ensino de Física. A Fase II envolveu o desenvolvimento de uma simulação em RVI, dos experimentos de Difração de Thomas Young e o Efeito Fotoelétrico de Philipp Lenard utilizando Blender e Unity. A Fase III, de aplicação e análise, incluiu a avaliação da simulação por professores especialistas em Física/Ensino de Física e estudantes de Engenharia Elétrica e Licenciatura em Física, por meio de questionários mistos e análise fenomenológica. Estudando as interações dos estudantes, coleta de dados sobre seu desempenho conceitual e análise de suas experiências dentro do ambiente imersivo. A discussão centra-se nos desafios e possibilidades do uso da RVI no contexto educacional, com ênfase na compreensão dos fenômenos discutidos na Física Moderna. Em particular, Investigou-se como a RVI pode ser analisada à luz da ZDP, possibilitando que os alunos avancem em sua aprendizagem por meio da interação com ambientes simulados, assistidos e guiados pelos professores. A RVI é analisada como um recurso que potencializa a visualização e compreensão desses fenômenos, ao facilitar a aprendizagem de conceitos complexos por meio da interação Pedagógico-Tecnológica. Com isso, este trabalho propõe e discute o modelo teórico denominado Mediação Pedagógico-Tecnológica do Conhecimento Específico (MPTCE), como um arcabouço para que professores compreendam e planejem didaticamente o uso de tecnologias imersivas, integrando intencionalidade pedagógica e recursos tecnológicos. O modelo MPTCE traz uma possibilidade de que o professor compreenda os processos que envolvem a utilização de uma ferramenta tecnológica que é abordada e pensada em cada componente teórico e desenvolvida com o objetivo de apresentar uma estratégia que facilite o planejamento didático para melhorar os processos de ensino-aprendizagem. Portanto, a pesquisa realizada oferece insights sobre a operacionalização da RVI como ferramenta de mediação pedagógica, demonstrando seu potencial para articular teoria e experimentação e, ao mesmo tempo, promover a ZDP na superação de níveis de abstração conceitual.

Palavras-chaves: ensino de Física; Física Moderna; realidade virtual imersiva; mediação; ensino-aprendizagem; modelo didático.

## ABSTRACT

This thesis investigates the impact of implementing an Immersive Virtual Reality (IVR) simulation on the teaching and learning of the concepts of wave–particle duality and the photoelectric effect in the context of Modern Physics. Grounded in Vygotsky’s constructivist perspective, the study examines how IVR, acting as a pedagogical–technological mediation tool, can enhance students’ Zone of Proximal Development (ZPD) and thereby help overcome the abstraction inherent to these concepts through the articulation of theory and experimentation. The methodological approach followed a mixed methodology, structured in three phases. Phase I consisted of systematic literature reviews (Methodi Ordinatio and the PRISMA 2020 protocol) to map the use of IVR in Physics education. Phase II involved the development of an IVR simulation of Thomas Young’s diffraction experiment and Philipp Lenard’s photoelectric effect experiment using Blender and Unity. Phase III, focused on implementation and analysis, included the evaluation of the simulation by expert Physics/Physics Education teachers and by students from Electrical Engineering and Physics Teacher Education programs, through mixed questionnaires and phenomenological analysis. This phase examined students’ interactions, collected data on their conceptual performance, and analyzed their experiences within the immersive environment. The discussion addresses the challenges and possibilities of using IVR in educational contexts, emphasizing the understanding of phenomena discussed in Modern Physics. In particular, the study investigated how IVR can be interpreted through the lens of the ZPD, enabling students to advance their learning through interaction with simulated environments, assisted and guided by teachers. IVR is analyzed as a resource that enhances visualization and understanding of these phenomena by facilitating the learning of complex concepts through pedagogical–technological interaction. Accordingly, this work proposes and discusses the theoretical model called Pedagogical–Technological Mediation of Specific Knowledge (MPTCE) as a framework to help teachers understand and didactically plan the use of immersive technologies by integrating pedagogical intentionality and technological resources. The MPTCE model offers a way for teachers to understand the processes involved in using a technological tool—conceptualized within each theoretical component—and was developed to provide a strategy that supports instructional planning to improve teaching–learning processes. Therefore, this research provides insights into the operationalization of IVR as a pedagogical mediation tool, demonstrating its potential to connect theory and experimentation while fostering the ZPD to overcome high levels of conceptual abstraction.

**Keywords:** Physics education; Modern Physics; immersive virtual reality; mediation; teaching–learning; didactic model.

## RESUMEN

La presente tesis investiga el impacto de la implementación de una simulación en Realidad Virtual Inmersiva (RVI) en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los conceptos de Dualidad Onda-Partícula y Efecto Fotoeléctrico en el contexto de la Física Moderna. Anclado en la perspectiva constructivista de Vygotsky, el estudio explora cómo la RVI, actuando como instrumento de mediación Pedagógico-Tecnológica, puede potenciar la Zona de Desarrollo Próximo (ZDP) de los estudiantes y, de este modo, superar la abstracción inherente a estos conceptos mediante la articulación entre teoría y experimentación. El recorrido metodológico adoptó un enfoque mixto, estructurado en tres fases. La Fase I consistió en revisiones bibliográficas sistemáticas (Methodi Ordinatio y protocolo PRISMA 2020) para mapear el uso de la RVI en la enseñanza de la Física. La Fase II involucró el desarrollo de una simulación en RVI de los experimentos de Difracción de Thomas Young y del Efecto Fotoeléctrico de Philipp Lenard, utilizando Blender y Unity. La Fase III, de aplicación y análisis, incluyó la evaluación de la simulación por profesores especialistas en Física/Enseñanza de la Física y por estudiantes de Ingeniería Eléctrica y Licenciatura en Física, mediante cuestionarios mixtos y análisis fenomenológico. Se estudiaron las interacciones de los estudiantes, se recopilaron datos sobre su desempeño conceptual y se analizaron sus experiencias dentro del entorno inmersivo. La discusión se centra en los desafíos y posibilidades del uso de la RVI en el contexto educativo, con énfasis en la comprensión de los fenómenos discutidos en la Física Moderna. En particular, se investigó cómo la RVI puede analizarse a la luz de la ZDP, posibilitando que los alumnos avancen en su aprendizaje mediante la interacción con entornos simulados, asistidos y guiados por los profesores. La RVI se analiza como un recurso que potencia la visualización y la comprensión de estos fenómenos, al facilitar el aprendizaje de conceptos complejos mediante la interacción Pedagógico-Tecnológica. Con ello, este trabajo propone y discute el modelo teórico denominado Mediación Pedagógico-Tecnológica del Conocimiento Específico (MPTCE), como un marco para que los profesores comprendan y planifiquen didácticamente el uso de tecnologías inmersivas, integrando intencionalidad pedagógica y recursos tecnológicos. El modelo MPTCE ofrece la posibilidad de que el docente comprenda los procesos que implican el uso de una herramienta tecnológica, abordada y pensada en cada componente teórico y desarrollada con el objetivo de presentar una estrategia que facilite la planificación didáctica para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje. Por lo tanto, la investigación realizada ofrece aportes sobre la operacionalización de la RVI como herramienta de mediación pedagógica, demostrando su potencial para articular teoría y experimentación y, al mismo tiempo, promover la ZDP en la superación de niveles de abstracción conceptual.

**Palabras clave:** enseñanza de la Física; Física Moderna; realidad virtual inmersiva; mediación; enseñanza-aprendizaje; modelo didáctico.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Head-Mounted Display (HMD) desenvolvido por Ivan Sutherland.....	28
Figura 2 – Imagem do Óculos Quest 3 .....	29
Figura 3 – Esquema de onda luminosa se propagando em linha reta através de dois meios (ar e água). .....	49
Figura 4 – Esquema dos raios de luz segundo a lei de Snell.....	49
Figura 5 - Exemplo de esquema experimental de Thomas Young.....	52
Figura 6 – Imagem demonstrando o Experimento de Hertz.....	57
Figura 7 – Esquema de aparato experimental por Lenard para o estudo do Efeito Fotoelétrico.....	58
Figura 8 - Esquema do Efeito Fotoelétrico simulado do experimento de Lenard. ....	59
Figura 9 - Gráfico da corrente elétrica em função do potencial no efeito fotoelétrico	61
Figura 10 - Mediação Pedagógico-Tecnológica do Conhecimento Específico (MPTCE) .....	82
Figura 11 - Estrutura metodológica da pesquisa .....	84
Figura 12 - Diagrama PRISMA da pesquisa .....	108
Figura 13 - Aba de escolha para instalação na Unity .....	117
Figura 14 – Interfase inicial na Unity. ....	117
Figura 15 - Tela inicial da modelagem 3D Blender.....	119
Figura 16 - Processo de seleção de comprimento de onda com espectrômetro e rede de difração.....	122
Figura 17 – Base dos objetos, fenda, e lâmpada experimental.....	122
Figura 18 - Visualização dos equipamentos do Momento A .....	123
Figura 19 - Aparato experimental por Lenard para o estudo do Efeito Fotoelétrico	123
Figura 20- Representação do experimento do Lenard simulado no Blender. ....	124
Figura 21 - Ambiente virtual criado na Unity .....	125
Figura 22 - Bancada na simulação RVI (Momento A) .....	125
Figura 23 - – Bancada na simulação RVI (Momento B) .....	126
Figura 24 - Resultados da Categoria I.....	132
Figura 25 - Resultados da categoria II .....	134
Figura 26 - Resultados da categoria III .....	135
Figura 27 - Qual o seu nível de compreensão sobre o conceito de difração antes de usar a simulação em realidade virtual imersiva?.....	140
Figura 28 - A simulação em RVI facilitou a compreensão do fenômeno de difração? .....	140
Figura 29 - Você sentiu que a simulação proporcionou um melhor entendimento sobre como a luz se comporta ao passar pela rede de difração? .....	141
Figura 30 - Você se sentiu mais engajado pela RVI durante a aprendizagem com este método de ensino utilizado?.....	144
Figura 31 - Qual é o seu nível de familiaridade com o conteúdo sobre Dualidade Onda-partícula e o Efeito Fotoelétrico?.....	145

Figura 32 - Qual método foi utilizado para o seu aprendizado deste conteúdo?.....	145
Figura 33 - Em uma escala de 1 a 5, como você avalia a clareza das explicações fornecidas durante a aprendizagem com RVI? .....	146
Figura 34 - Você se sentiu mais engajado durante a aprendizagem com o uso da RVI? .....	147
Figura 35 - Quão bem você acha que compreendeu os conceitos envolvidos sobre Dualidade Onda-Partícula e Efeito Fotoelétrico após a aula? .....	148

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições de Realidade Virtual por diversos autores/anos .....	26
Quadro 2 - Títulos, objetivos, resultados e análise crítica dos artigos selecionados na área de ensino de Física, em especial Física Moderna. ....	91
Quadro 3 – Presença do construtivismo com ferramentas tecnológica para o ensino nos artigos analisados.....	105
Quadro 4 - Seleção de palavras-chaves .....	107
Quadro 5 - Artigos analisados na revisão sistemática.....	109
Quadro 6 - Questões da categoria I .....	132
Quadro 7 - Questões da categoria II .....	133
Quadro 8 - Questões da Categoria III .....	135
Quadro 9 - Respostas da questão 1 do questionário momento A .....	138
Quadro 10 - Respostas de questão 5.....	142
Quadro 11 - Respostas de questão 12.....	148
Quadro 12 - Respostas de questão 13.....	150
Quadro 13 - Respostas de questão 14.....	151
Quadro 14 - Respostas de questão 15.....	152

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Busca nas bases de dados e resultados.....	88
Tabela 2 - Artigos filtrados pelo Mendeley .....	89
Tabela 3 - Áreas de Pesquisa Seleccionadas.....	89
Tabela 4 - Artigos seleccionados sobre Ensino de Física e Ensino de Física Quântica .....	90
Tabela 5- Busca nas bases de dados e resultados.....	99
Tabela 6 - Artigos filtrados no Mendeley .....	100
Tabela 7 - Artigos seleccionados para o estudo sistemático de acordo com o ranking .....	100
Tabela 8 - Busca nas bases de dados e resultados.....	108

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPC	Conhecimento Pedagógico do Conteúdo
HMD	Hed-Moutend Display
IA	Inteligência Artificial
MPTCE	Mediação Pedagógico-Tecnológica do Conhecimento Especifico
RA	Realidade Aumentada
RV	Realidade Virtual
RVI	Realidade Virtual Imersiva
UTFPR	Universidade Tecnologia Federal do Paraná
ZDP	Zona de desenvolvimento Proximal

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	Motivação para esta pesquisa.....	18
1.2	Justificativa.....	21
1.3	Formulação do problema.....	22
1.4	Objetivos: Geral e Específicos .....	23
1.4.1	Objetivo geral .....	23
1.4.2	Objetivos específicos.....	23
1.5	Considerações e contextualização da tese.....	24
<b>2.</b>	<b>MARCO REFERENCIAL DA PESQUISA.....</b>	<b>25</b>
2.1	Realidade Virtual e Imersiva .....	25
2.2	Realidade Virtual Imersiva para o processo de ensino-aprendizagem.....	30
2.4	Aprendizagem Imersiva (I-learning) nos ambientes virtuais:.....	34
2.5	Construtivismo na visão de Lev Vygotsky.....	37
2.6	Processo de mediação na visão Vygotskiana .....	41
<b>3.</b>	<b>UM OLHAR PARA A DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA/EFEITO FOTOELÉTRICO. ....</b>	<b>45</b>
3.1	Discussões sobre a teoria Ondulatória e Corpuscular da Luz.....	47
3.2	Thomas Young e sua teoria Ondulatória da luz.....	50
3.3	De onde surge a teoria da Dualidade Onda-Partícula?.....	53
3.4	Origem do Efeito Fotoelétrico .....	56
3.5	Contribuição de Einstein para explicar o Efeito Fotoelétrico.....	61
3.6	Ondas de Matéria De Broglie.....	64
<b>4.</b>	<b>REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA COMO MEDIAÇÃO PEDAGÓGICO-TECNOLÓGICA EM PRESENÇA DE CONTEÚDOS ABSTRATOS DE FÍSICA MODERNA .....</b>	<b>67</b>
4.1	Realidade Virtual Imersiva e o Ensino de Física Moderna.....	69
4.2	Mediação Didática e Realidade Virtual Imersiva.....	73
4.3	Análise conceitual sob RVI como Mediação Pedagógico-Tecnológica na Física Moderna.....	75
4.4	Mediação pedagógica .....	77
4.5	Mediação tecnológica .....	78
4.6	Mediação pedagógico-tecnológica .....	79
4.7	Conhecimento específico .....	80
4.8	Desenvolvimento cognitivo facilitado .....	81
<b>5.</b>	<b>PERCURSO METODOLÓGICO .....</b>	<b>84</b>

<b>5.1</b>	<b>Fase I – Documental.....</b>	<b>85</b>
5.1.1	Primeira revisão bibliográfica e uma análise crítica de pesquisas sobre o uso da realidade virtual no ensino de Física Moderna.....	81
5.1.2	Discussão das descobertas.....	91
5.1.3	Resultados das pesquisas que empregam a teoria construtivista como base de aprendizagem no contexto do ensino da Física, por meio da mediação tecnológica. ....	98
5.1.4	Discussões das descobertas.....	104
5.1.5	Terceira revisão bibliográfica e uma análise crítica de pesquisas sobre o uso da RVI no ensino de Física Moderna.....	107
5.1.6	Análise crítica dos artigos selecionados.....	109
<b>5.2</b>	<b>Fase II – Desenvolvimento.....</b>	<b>113</b>
5.2.1	Desenvolvedor da Unity .....	116
5.2.2	Modelagem no Blender .....	118
5.2.3	Simulação RVI para o ensino-aprendizagem da Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico .....	120
<b>5.3</b>	<b>Fase III – Aplicação e Análise dos resultados .....</b>	<b>127</b>
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES DA PESQUISA .....</b>	<b>131</b>
<b>6.1</b>	<b>Resultados sobre a avaliação da simulação RVI por especialistas em Física/Ensino de Física. ....</b>	<b>131</b>
6.1.1	Análise geral do estudo da avaliação RVI pelos professores de Física .....	136
<b>6.2</b>	<b>Análise de resultados após aplicação da simulação RVI.....</b>	<b>137</b>
6.2.1	Análise geral do estudo sobre a aplicação da simulação RVI .....	153
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>158</b>
<b>7.1</b>	<b>Entrave e desafios.....</b>	<b>163</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>166</b>
	<b>APÊNDICE A – Questionário escala linkert – avaliação da simulação RVI por parte de professores da área de física/ensino .....</b>	<b>176</b>
	<b>APÊNDICE B - Momento A Questionário sobre dualidade onda-partícula/efeito fotoelétrico e realidade virtual .....</b>	<b>180</b>
	<b>APÊNDICE C - Momento B Questionário sobre dualidade onda-partícula/efeito fotoelétrico e realidade virtual .....</b>	<b>183</b>
	<b>APÊNDICE D - Manual técnico-didático sobre simulação RVI .....</b>	<b>186</b>
	<b>ANEXO A – Aprovação do projeto comitê de ética .....</b>	<b>219</b>

## 1. INTRODUÇÃO

*"O importante é não parar de questionar. A curiosidade tem sua própria razão de existir. Não podemos deixar de ficar maravilhados ao contemplar os mistérios da eternidade, da vida, da maravilhosa estrutura da realidade"*  
William Miller<sup>1</sup>(1955).

Essa citação do William Miller sob Albert Einstein a qual destaca a importância da curiosidade e do questionamento para os processos de aprendizagem. Ela enfatiza a necessidade contínua da curiosidade e de explorar a existência e a complexidade da realidade, aspectos intrínsecos à aprendizagem científica e que se alinham à busca ininterrupta pelo conhecimento. Essa busca, considerada um impulso fundamental da humanidade, ademais, de motivada pela admiração diante dos mistérios não desvendados, da vida e da estrutura incrível da realidade.

Dessa forma, em concordância com a frase do Miller, a curiosidade que impulsiona nosso desejo de compreensão nas interações diárias reflete na busca incessante por desvendar os mistérios da existência. As experiências vivenciadas nos diversos entornos sociais, tais como os familiares, acadêmicos, entre outros, são oportunidades para questionar, explorar e aprender. Assim, aproveitar tudo isso para o crescimento intelectual ajuda na expansão do conhecimento, sempre com a ideia de querer aprender cada vez mais sobre ciências e seu comportamento.

Nesse sentido, essa busca pelos conhecimentos que são revelados nos fenômenos do universo, tornei-me Licenciado em Física e Matemática na Universidade de Los Andes (ULA), Venezuela. Desde o começo dos estudos na Física e Matemática, esteve presente aquela curiosidade em apreender sobre os diversos fenômenos naturais que acontecem no mundo e no cotidiano. Motivado por isso, estudei na faculdade nessa área, e com o passar dos meses/anos sentia uma atração mais forte em relação ao ensino da Física.

Como parte desses resultados, ainda procuro soluções e alternativas que possam representar as diversas situações no estudo da Física para torná-las práticas

---

<sup>1</sup>Albert Einstein. Memoirs of William Miller, and editor. Quoted in *Life* magazine. *Expanded*, p. 281, May 2, 1955.

e inovadoras. Com isso, uma boa estratégia educacional pode ser abordada de uma maneira didática e pedagógica para melhorar a aprendizagem.

Por outro lado, após a graduação, tive a oportunidade de embarcar em uma nova experiência, sendo ela a pós-graduação na área de ensino de Ciências, pela qual torna-se mais claro o desafio de aprimorar os estudos no ensino da Física. Parte desse desafio foi o de deixar meu país Venezuela e decidir buscar novos aprendizados em uma nova terra e novas culturas. Isto tem sido realmente enriquecedor.

Desde o primeiro momento, vislumbrei a oportunidade de estudar no exterior, com expectativas de aprender muito mais na área de formação. O que realmente tem ocorrido desde que cheguei neste belo país Brasil, onde tive a oportunidade de estudar o mestrado na Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), no programa em Ensino de Ciências e Educação Matemática, na área de ensino de Física com o tema da dissertação: Tecnologia Digital Educacional para a Aprendizagem da Dinâmica Newtoniana, pela qual alcancei a titulação de Mestre. Essas perspectivas, que inicialmente eram pequenas, hoje são realidade. E quão maravilhoso está sendo a formação.

Ao visualizar um desafio ainda maior dentro da formação, sendo este continuar os estudos de Pós-graduação, agora com o Doutorado. O caminho percorrido na construção desta tese foi muito proveitoso, sempre na busca pelo conhecimento. Além disso, a possibilidade de focar os estudos em uma área específica que facilita a reflexão e aprofundamento das evoluções tecnológicas que a cada dia estão sendo aprimoradas em todas as áreas de conhecimento, destacadamente na área da Educação e Ensino de Ciências.

Nesse sentido, as evoluções tecnológicas têm modelado o cenário educacional, alterando as formas como professores-alunos interagem e compartilham conhecimento. O acesso aos aprendizados online, software, simulações, plataformas digitais até a IA, desafia os paradigmas tradicionais de ensino, incentivando abordagens mais personalizadas e interativas.

No entanto, essas evoluções tecnológicas também destacam desafios, como a necessidade de superar disparidades no acesso às ferramentas digitais e garantir que a inovação na educação esteja alinhada com os objetivos pedagógicos de preparar os alunos para um futuro dinâmico e em constante transformação.

A incorporação de tecnologias na prática de ensino constitui-se um grande desafio para os educadores na área da ciência, particularmente no ensino de Física. Nessa perspectiva, é momento de adotar novas abordagens de ensino, sendo uma delas, o uso sistematizado, didático e pedagógico da Realidade Virtual Imersiva (RVI) como uma ferramenta que o professor possa utilizar para mediar conteúdo dentro da Física, considerando o alto potencial para os processos de ensino-aprendizagem de conteúdos abstratos da Física Moderna. A RVI possibilita um ensino mais dinâmico e interativo que aproxima o aluno dos conhecimentos, estimulando sua análise e reflexão sobre os conteúdos estudados, tornando-os mais atraentes e provocando a curiosidade para aprofundar-se nos temas científicos.

### **1.1 Motivação para esta pesquisa**

Incorporar tecnologias na prática de ensino é um desafio que persiste nas diversas áreas dentro das ciências. Da mesma forma, a compreensão de princípios físicos muitas vezes requer abordagens que vão além dos métodos tradicionais. Com isso, se torna importante a utilização de estratégias pedagógicas junto com ferramentas tecnológicas no ensino de Física, modernizando a abordagem pedagógica e, ao mesmo tempo, desempenhando um papel crucial no engajamento e aprendizagem dos alunos.

Nessa perspectiva, a utilização da tecnologia no âmbito educativo traz uma forma de testar e conhecer quais são as opções de recursos tecnológicos que estão disponíveis, e como esses recursos podem servir como apoio nas estratégias pedagógicas para ensinar um determinado conteúdo. Segundo Ferreira et al, (2021) a incorporação de tecnologias educacional converteu-se em um processo que vai muito além do uso de ferramentas tecnológicas que compõem o ambiente educacional, mas compõe-se em uma construção didática, que envolve criar, interpretar e consolidar a aprendizagem.

O aumento significativo no uso de tecnologias computacionais na sociedade, especialmente o acesso a tecnologias digitais como simulações, software, aplicativos, IA e a evolução das interações mediadas por aplicativos e programas, mostra que a

integração dessas ferramentas no contexto educacional não é apenas uma adaptação necessária, mas uma estratégia fundamental que possa contribuir com os processos de ensino-aprendizagem (Costa; Fofonca, 2017).

Embora muitos recursos tecnológicos tenham sido integrados ao ensino da Física, ainda falta uma conexão significativa entre os conceitos, definições dos fenômenos, as ferramentas tecnológicas com o uso didático e pedagógico. Este desafio é particularmente pronunciado no campo da Física Moderna, onde as teorias são altamente abstratas e com difícil demonstração didática. Como resultado, pode ser grande desafio a implementação eficaz de alguns recursos pedagógicos.

Segundo Fiolhais (2003), o elevado número de reprovações em Física, nos diversos níveis de ensino, reflete bem as dificuldades que os alunos enfrentam para aprender esta ciência, sobretudo pelas dificuldades de abstração dos alunos, principalmente dos mais jovens. Como consequência, muitos deles não conseguem compreender a ligação entre a Física Moderna e a vida cotidiana.

As dificuldades dos alunos em aprender Física Moderna, também se dá devido à falta em compreender fenômenos que não são visíveis aos nossos olhos como na Física Clássica. Tendo isso, pensa-se na necessidade de abordagens pedagógicas “inovadoras” para superar esses desafios. Assim, frente a diversas possibilidades de tecnologias, a utilização da RVI no ensino de Física emerge como uma progressão impactante nesse cenário de evolução tecnológica (Lai; Hao; Kang, 2022).

Ao utilizar ambientes virtuais imersivos, os educadores podem criar experiências práticas que tornam os conceitos abstratos dos fenômenos quânticos mais acessíveis. Assim, a RVI pode oferecer a oportunidade de visualizar esses fenômenos proporcionando aos alunos uma compreensão intuitiva, realista e simbólica, estabelecendo uma relação entre teoria e prática. De forma que as simulações interativas e laboratórios virtuais não apenas tornam os conceitos físicos visíveis, mas também incentivam a exploração ativa. Ao adotar essas abordagens, os educadores não apenas preparam os alunos para o mundo tecnológico contemporâneo, mas também cultivam um ambiente de aprendizado que fomenta o interesse pela Física, promovendo a discussão e a crítica.

Nesse sentido, a RVI pode ser um exemplo de tecnologia que está presente em diversas áreas do conhecimento como na medicina, engenharia, entre outros, mas ainda é pouco explorada no meio educacional de maneira efetiva. As peculiaridades dessa tecnologia, como a dificuldade para a geração de conteúdos, têm dificultado a sua adoção ampla pelos professores (Martins; Vanzella; Guimarães. 2012). No entanto, este tipo de ferramenta pode ajudar significativamente na compreensão de fenômenos físicos, ainda mais nos estudos da Física Moderna, na qual contemplam-se teorias abstratas e, na maioria das vezes, difíceis de compreender.

Um exemplo de conteúdo abstrato discutido na Física Moderna é a Dualidade Onda-partícula/Efeito Fotoelétrico. Trata-se de uma demonstração impressionante de como a Física Moderna desafia a intuição e estende seus princípios fundamentais a todas as escalas da realidade. A ideia de que partículas e até objetos macroscópicos possuem características ondulatórias, embora não se manifestem facilmente em nosso mundo cotidiano, destaca a profundidade e complexidade dos fenômenos da natureza estudados por ela.

Dessa maneira, a RVI pode ser uma ferramenta valiosa para superar a abstração desses e outros conceitos subatômicos presentes na Física Moderna. Ao criar ambientes virtuais que possibilitam a interação direta com os fenômenos, as simulações imersivas oferecem uma abordagem pedagógica que pode estimular o interesse dos alunos, tornando os conceitos quânticos mais acessíveis e estimulando uma compreensão crítica. Assim, ao enfrentar as dificuldades associadas aos processos de ensino, os educadores podem potencializar seu impacto promovendo uma aprendizagem mais envolvente e eficaz.

Nessa ordem de ideias, ao explorar a interseção entre o uso de tecnologia para o ensino, é importante realizar uma abordagem nas teorias de aprendizagem, onde se pretende realizar uma interpretação sobre as interações didáticas-pedagógicas. Com isso, foi considerada uma pesquisa de revisão/discussão sobre o construtivismo de Vygotsky na utilização de tecnologias no ensino de Física e mais específico na Física Moderna. Assim, ao incorporar a RVI no ensino de fenômenos quânticos, por meio de experiências imersivas, é possível gerar situações experimentais como uma linguagem simbólica para representar tais fenômenos, promovendo uma aprendizagem baseada em contextos práticos simulados.

Diante desse cenário, assume-se como objetivo geral da tese, investigar como a implementação de uma simulação em RVI, fundamentada na Mediação Pedagógico-Tecnológica, pode influenciar o processo de ensino e aprendizagem dos conceitos de Dualidade Onda-partícula/Efeito Fotoelétrico no contexto da Física Moderna.

Por isso, esta tese contribui com uma proposta tanto teórica e prática com a incorporação da realidade virtual nos processos didáticos, ela busca ser um recurso para professores e alunos, promovendo um ensino-aprendizagem mais interativo da Física Moderna. Essa abordagem visa otimizar a interação dos alunos com o conhecimento, impulsionando-os na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), ao articular o conhecimento teórico prévio com a mediação estratégica do professor (instrumentalizada pela tecnologia) e as interações colaborativas com seus pares em sala de aula.

## **1.2 Justificativa**

No âmbito do ensino universitário, especificamente na área de Física, o objetivo principal é fornecer aos futuros profissionais as habilidades e conhecimentos necessários para um sólido desenvolvimento na compreensão e interpretação de vários fenômenos. Assim, busca-se instigar nos futuros profissionais do ensino de Física não apenas um entendimento profundo dos conceitos físicos, mas também uma atitude de indagação e entusiasmo contínuo pela descoberta de instrumentos didáticos e científicos.

Nesse sentido, almeja-se desenvolver habilidades que vão além da memorização, capacitando os alunos a relacionar teorias complexas com fenômenos e situações do cotidiano. Ao encorajar essa conexão entre a Física e a vida prática, o ensino visa tornar a disciplina mais acessível e relevante.

Neste processo de compreender os fenômenos de estudo, é crucial saber como a área de pesquisa proposta nesta tese, envolvendo RVI e ensino de Física Moderna, está sendo abordada em pesquisas similares no mundo, quais são suas aplicações, as ferramentas que tem sido empregada para a criação de simulações e os processos pedagógicos utilizados para o ensino.

Considerando esses fatos, realizou-se uma revisão bibliográfica e análise crítica com o objetivo de identificar as pesquisas educacionais mais recentes que utilizam a simulação, especificamente em realidade virtual, como ferramentas de ensino e aprendizagem na Física e fazer uma análise crítica dos trabalhos.

De acordo com os artigos encontrados neste levantamento, no período de 1996 a 2019, não há evidências significativas de pesquisas que relacionem à realidade virtual e o ensino de Física. Somente após de 2020 houve um progresso nas pesquisas que abordam o tema a partir das bases pesquisadas. Um motivo para isso pode estar relacionado aos processos emergenciais de ensino remoto desencadeado pela pandemia Covid-19 e aos avanços tecnológicos recentes, com os quais a educação tem enfrentado uma forte transformação no que diz respeito aos modelos e estratégias de ensino.

Outro fator importante relacionado ao aumento significativo do uso de tecnologias computacionais nas salas de aula nos últimos anos pode ser o surgimento de novas ferramentas de software e a evolução das interfaces de interação com as aplicações e programas. Diante disso, Tori, Kirner e Ciscouto, (2006), afirmam que a área da educação tem muito a ganhar com a RVI em seus mais diversos aspectos, tais como as aplicações que incluem o uso dos laboratórios virtuais; a participação em eventos virtuais; a consulta a bibliotecas virtuais; as simulações de fenômenos, entre outros.

Dessa forma, busca-se aplicar essa tecnologia em ambientes formais de ensino nos quais os elementos mais significativos do processo educacional possam confirmar e avaliar sua eficácia na aprendizagem. Além disso, a pesquisa visa investigar as principais dificuldades dos alunos em diversos conteúdos, promover atividades mais ativas e incentivar e orientar os professores no desenvolvimento de práticas que envolvam tais tecnologias.

### **1.3 Formulação do problema**

Diante dos avanços tecnológicos apresentados na área que abrange a RVI como tecnologia educacional, ela se apresenta como uma alternativa promissora para a experiência e discussão da Física Moderna. Matovu et al. (2023) destacam que, ao

promover a colaboração em espaços virtuais permitindo o acompanhamento pedagógico mediado, a realidade virtual pode ser entendida como uma ferramenta tecnológica alinhada com a visão de instrumento social, permitindo se aproximar na ZDP promovendo engajamento, pertencimento e aprendizagem significativa em contextos de ensino de ciências.

Nesse contexto, esta tese busca responder à seguinte problemática: Como a implementação de uma simulação em RVI, fundamentada na Mediação Pedagógico-Tecnológica, contribui no processo de ensino e aprendizagem da Dualidade Onda-partícula/Efeito Fotoelétrico na Física Moderna? Tendo esse questionamento, é crucial investigar a viabilidade técnica e pedagógica dessa abordagem, identificando as melhores práticas na seleção de teorias, proposta e estratégias de mediação para a efetiva integração desses elementos no contexto educacional.

#### **1.4 Objetivos: Geral e Específicos**

##### **1.4.1 Objetivo geral**

Investigar como a implementação de uma simulação em Realidade Virtual Imersiva (RVI), fundamentada na Mediação Pedagógico-Tecnológica, pode influenciar o processo de ensino e aprendizagem dos conceitos de Dualidade Onda-partícula/Efeito Fotoelétrico no contexto da Física Moderna.

Para alcançar o objetivo elencado para esta tese, foram estabelecidos alguns objetivos específicos, os quais orientam de forma organizada, a construção deste trabalho:

##### **1.4.2 Objetivos específicos**

- i. Indagar, por meio de uma revisão bibliográfica e análise crítica, as principais abordagens educacionais que utilizam a RVI como ferramenta para o ensino de Física Moderna;

- ii. Relacionar a RVI como Mediação Pedagógico-Tecnológica para o processo de ensino e aprendizagem da Física Moderna no conteúdo selecionado para esta tese;
- iii. Selecionar a plataforma tecnológica e os recursos de RVI disponíveis de forma gratuita para a criação e implementação de aplicações educacionais;
- iv. Criar uma simulação de RVI sobre Dualidade Onda-partícula/Efeito Fotoelétrico, concebida como instrumento de mediação para o processo de ensino e aprendizagem;
- v. Avaliar a simulação RVI com professores universitários na área de Física/Ensino de Física
- vi. Aplicar a simulação em uma turma de licenciatura em Física ou Engenharia, avaliando sua eficácia como instrumento Pedagógico-Tecnológica na aprendizagem do conteúdo específico para esta tese.

### **1.5 Considerações e contextualização da tese**

Esta tese está organizada da seguinte maneira: O Capítulo 1 apresenta a trajetória acadêmica do pesquisador, a introdução aos temas da pesquisa, justificativa, problema de pesquisa e objetivos. O Capítulo 2 contempla o referencial teórico que dá suporte a proposta de pesquisa que foi desenvolvida. É apresentada a teoria de aprendizagem que dá suporte ao produto educacional na perspectiva de mediação Vygotskiana. O Capítulo 3 está focado nos fundamentos da Física Moderna desde a visão epistemológica e histórica do tema central da pesquisa que é a Dualidade Onda-partícula até o Efeito fotoelétrico. O Capítulo 4 apresenta o desenvolvimento teórico mostrando a RVI como um instrumento de Mediação Pedagógico-Tecnológica em presença de conteúdos abstratos de Física Moderna. O Capítulo 5 apresenta o detalhamento metodológico e as etapas da pesquisa. O Capítulo 6 apresenta os resultados, com relação a avaliação e aplicação da simulação em RVI. O Capítulo 7 apresenta as considerações finais, incluindo Entraves e Desafios da pesquisa. Apresenta qual é a importância de abordar pesquisas deste tipo dentro das novas estratégias de ensino.

## 2. MARCO REFERENCIAL DA PESQUISA

### 2.1 Realidade Virtual e Imersiva

A realidade virtual surgiu em 1963, nos Estados Unidos, quando Ivan Sutherland desenvolveu uma aplicação denominada Sketchpad (Sutherland, 1963), na qual permitiu a manipulação de figuras tridimensionais no monitor de um computador, em tempo real. Desde então, a “Realidade Virtual” vem sendo um termo meio contraditório. Como algo que é virtual poderia ser ao mesmo tempo real? Uma possível resposta seria o que é “real” não é imaginário. De fato, os ambientes virtuais são, ao mesmo tempo, reais (Tori; Hounsell, 2018). Neste sentido, ao longo dos anos, vem sendo criados ambientes virtuais, que são percebidas pelos sistemas sensoriais da mesma forma que o mundo físico real.

A expressão de Realidade Virtual (RV) segundo (Tori; Hounsell, 2018), é uma imersão do usuário em um espaço completamente composto por elementos virtuais. Na década de 1950, a concepção do primeiro dispositivo que propiciava a imersão dos sentidos do usuário em um mundo virtual tridimensional, foi por um engenheiro na década de 1960, sendo atribuída a construção do primeiro capacete de RV a um profissional misto de artista e cientista da computação. Como se vê, apesar de ser relacionada com tecnologia computacional de ponta, a RV não é uma área de pesquisa tão recente quanto possa parecer, nem restrita a profissionais da computação. De fato, a RV trabalha na ponta do desenvolvimento científico e tecnológico, buscando sempre interfaces interativas mais próximas aos sentidos humanos.

A RV é uma “interface avançada” que permite ao usuário, através do computador em ambientes tridimensionais, a interação, a visualização e a movimentação em tempo real. O sentido da visão costuma ser preponderante em aplicações de realidade virtual, mas os outros sentidos, como tato, audição, etc. Também podem ser usados para enriquecer a experiência do usuário (Kirner; Siscoutto, 2007).

Ao longo dos anos, a RV tem recebido diversas definições, sendo algumas delas apresentadas na tabela 1.

**Quadro 1 - Definições de Realidade Virtual por diversos autores/anos**

<b>Autor (es) - ano</b>	<b>Definição</b>
Jaron Lanier – 1980	Diferenciar simulações tradicionais feitas por computador de simulações, envolvendo múltiplos usuários em um ambiente compartilhado.
Aukstalkanis e Blatner – 1993	Maneira humana de visualizar, manipular e interagir com computadores e dados complexos.
Burdea e Coiffet -1994	Interface computacional avançada que envolve simulação em tempo real e interações, através de canais multissensoriais.
Manetta e Blade – 1995	Sistema de computador usado para criar um mundo artificial no qual o usuário tem a impressão de estar e a capacidade de navegar e manipular objetos nele.
Roehl – 1996	Simulação de um ambiente tridimensional gerado por computador, em que o usuário é capaz tanto de ver quanto de manipular os conteúdos desse ambiente.
Botella; Garcia; Rivera e Castelhana - 2007	Tecnologia que permite a criação de um espaço tridimensional por meio de um computador; isto é, permite a simulação da realidade, com a grande vantagem de que podemos introduzir, no ambiente virtual, elementos e eventos que consideramos úteis, segundo o objetivo a que nos propomos.
Bailenson et al – 2008	São simulações computacionais do mundo real impressões em ambiente artificial ou virtual.
Mikropoulos e Natsis – 2011	É definida como um sistema de mídia complexo que simula ou imita mundos reais e imaginários.
Jerald – 2016	Mídia constituída por simulações computacionais interativas.
Ceolin R, et al – 2023	É uma tecnologia baseada em interfaces 3D que tentam criar uma conexão entre o usuário e um ambiente simulado em 360°.

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Consequentemente, a evolução do conceito de realidade virtual ao longo das décadas tem sido caracterizada por avanços tecnológicos, além de uma crescente integração em diversas áreas de conhecimento. Inicialmente, a ideia de RV era um

conceito puramente teórico, mas ganhou força na década de 1960 com as primeiras experiências rudimentares de ambientes simulados.

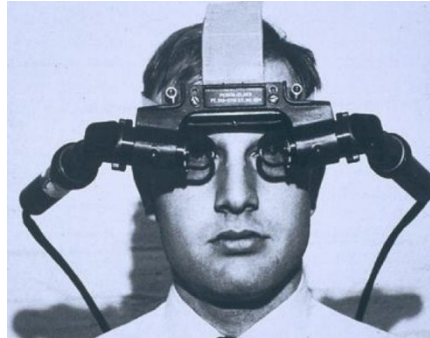
O termo "realidade virtual" foi cunhado no início da década de 1980, quando as tecnologias de computação e gráficos começaram a tornar as simulações mais imersivas e acessíveis. Nas décadas seguintes, o campo evoluiu rapidamente, com a introdução de dispositivos de hardware como capacetes e luvas sensoriais, bem como a expansão de aplicativos além dos jogos para áreas como medicina, treinamento e design. Hoje, a RV está transformando indústrias e proporcionando experiências imersivas na área da educação, possibilitando superar desafios e, assim, conhecer as fronteiras entre o real e o virtual.

A RV apresenta características importantes como por exemplo: trabalha com informações multissensoriais (imagens dinâmicas, sons espaciais, reação de tato e força, entre outros) produzidas e manipuladas em tempo real, também prioriza a interação em tempo real, em detrimento da qualidade das informações, se for necessário; exige uma alta capacidade de processamento gráfico, sonoro e háptico em tempo real. Ademais, promove a atuação do usuário no espaço 3D; utiliza dispositivos especiais para interação multissensorial; exige adaptação e treinamento do usuário para ajustar-se ao mundo virtual (Tori; Hounsell, 2018).

Assim, um sistema de RV apresenta dois componentes básicos segundo (Tori; Hounsell, 2018) hardware e software. O hardware engloba os dispositivos de entrada, displays multissensoriais, processadores e redes. O software inclui controladores de simulação/animação, ferramentas de autoria, banco de dados de objetos virtuais, funções de interação e interface de entrada e saída. O hardware de RV envolve uma grande variedade de dispositivos de entrada, que servem para ajudar o usuário a se comunicar com o sistema de RV.

Como uma primeira opção de interface 3D, propiciando ao usuário interações naturais, com o uso das mãos em ambientes virtuais renderizados na tela do monitor, em projeções em tela, ou em projeções nos olhos, através de capacetes de realidade virtual, em 1968, foi construído o chamado "Sword of Damocles", sendo considerado o primeiro sistema Head-Mounted Display (HMD) de Realidade Virtual e Realidade Aumentada como se mostra na Figura 1.

**Figura 1- Head-Mounted Display (HMD) desenvolvido por Ivan Sutherland**



Fonte: Multimundo (2023) <https://multimundo9.webnode.pt/realidade-virtual/>

Portanto, para que o usuário consiga interagir com o mundo virtual, é necessário o uso de dispositivos especiais multissensoriais. Entre esses dispositivos, podem-se citar: óculos, rastreadores, luvas eletrônicas, mouses 3D, teclado, joystick, reconhecedores de voz, entre outros. Os displays são tratados como elementos sensoriais de saída, envolvendo mais do que a visão. Entre os elementos de saída, estão os displays visuais, os displays de áudio e os displays como luvas com rastreadores, dispositivos com reação de tato e força, mouses 3D, óculos estereoscópicos, fones de ouvido ou autofalantes com sons espaciais (BOWMAN, 2005).

Entre os dispositivos mais acessíveis, estão os desenvolvidos pela empresa HTC, que teve lançamento em abril de 2016, é um concorrente direto do Oculus Rift<sup>2</sup> por ser o produto mais semelhante. A Google, por outro lado, lançou em 2014 o Google Cardboard<sup>3</sup>, diferindo dos outros dois aparelhos citados anteriormente por ser apenas um suporte feito de papelão com lentes. O dispositivo funciona posicionando um smartphone no seu interior, que fica responsável por executar as aplicações de RV como jogos, exibição de vídeos imersivos. Dificultando um pouco a interatividade com objetos por falta de controles.

Nos dias atuais, tanto os *hardwares* quanto os *softwares* têm evoluído significativamente, aprimorando as formas de experiências virtuais tornando-as cada vez mais imersivas e envolventes. Por isso tem uma diferença entre RV e Realidade Virtual Imersiva (RVI).

---

<sup>2</sup> <https://www.oculos.com/rift/>

<sup>3</sup> <https://arvr.google.com/cardboard/>

Na RV o usuário interage com ambientes tridimensionais (3D) simulados digitalmente, podendo explorar e manipular objetos virtuais, geralmente por meio de uma tela comum de computador, *mouse* e teclado, sem a necessidade exclusiva de dispositivos especializados. Já a RVI representa um nível mais avançado dessa tecnologia. Nela, o usuário é totalmente inserido no ambiente virtual por meio de equipamentos específicos, como óculos ou *headsets*, controladores de movimento e sensores espaciais, o que proporciona uma sensação mais realista de presença e envolvimento dentro do ambiente digital.

Atualmente, as soluções HMD são o principal foco do desenvolvimento tecnológico da realidade virtual, dado que podem integrar uma boa quantidade de componentes que são necessários em uma simulação (a visão HD, os sensores de movimento, entre outros). A Figura 2 exibe os óculos Quest 3, lançado pela empresa meta em 2023.

**Figura 2 – Imagem do Óculos Quest 3**



**Fonte: Meta (2023) <https://www.meta.com/quest/quest-3/>**

Os softwares de sistemas de RVI são complexos e envolvem interações em tempo real, ademais de componentes hardware (óculos, controles, fones). Esses softwares atuam na fase de preparação do sistema, como ambientes 3D, e na fase de execução, como *run-time support*. O software pode envolver: linguagens, como C++, C#, Java ou Python; bibliotecas gráficas, como OpenGL, WebGL ou X3D; ou mesmo game engines, como OGRE, UNREAL, Unity 3D e outros. Game engines têm sido a opção preferida dos desenvolvedores, principalmente Unreal e Unity 3D, dada a facilidade propiciada por seus ambientes de desenvolvimento, por oferecerem suporte para a maioria dos dispositivos e HMD do mercado, e por gerarem aplicativos e executáveis para diferentes plataformas e sistemas operacionais. (Tori; Hounsell, 2020).

Neste sentido, ressalta-se que a RVI envolve interações em tempo real entre diversos componentes de hardware, o que exige uma abordagem cuidadosa e especializada no desenvolvimento de software. A preferência na utilização de Unreal e Unity 3D por desenvolvedores de jogos, simulações deve-se, sobretudo, à sua funcionalidade de criação, suporte a vários dispositivos e a capacidade de criação de aplicativos com diversas finalidades, tanto tecnológicos, comerciais e educativos.

## **2.2 Realidade Virtual Imersiva para o processo de ensino-aprendizagem**

A utilização de tecnologias digitais como facilitadora no processo de ensino e aprendizagem nunca deve ser proposta sem, antes, uma abordagem do contexto educacional. Considerando-se a realidade onde o estudante está inserido, quanto ao meio social e econômico ao qual pertence. As instituições educativas poderiam disponibilizar infraestrutura, salas de audiovisual com acesso à internet e recursos humanos que as utilizem com domínio do que querem desenvolver em seu processo de desenvolvimento de aprendizagem.

Considerando que a RVI traz maior nível de imersão, envolvimento, interação e engajamento na atividade, sendo que ela proporciona ao educando uma experiência realística, com grande potencial para a aprendizagem. (Garcia; Ortega; Zednik, 2017).

Segundo Santos, Rezende (2014):

[...] A tecnologia proporcionou grande quantidade de recursos e várias ferramentas tecnológicas educacionais, permitindo principalmente a rapidez na busca e compartilhamento de informações. O que era escassez passou à abundância de informações, e em sala de aula as novas ferramentas tecnológicas oportunizam um melhor aprendizado, em razão de os alunos estarem habituados com a tecnologia em seu cotidiano.

No âmbito da educação, a RVI ainda encontra alguns obstáculos, no entanto, as propostas educacionais devem ser trabalhadas com o objetivo de tentar amenizar ou superar esses obstáculos e fomentar cada vez mais o uso da tecnologia. (Tori; Kirner; Ciscouto, 2006), afirmam que a área da educação tem muito a ganhar com a RVI em seus mais diversos aspectos, tanto na modalidade presencial quanto à distância. O autor destaca que algumas aplicações incluem o uso dos laboratórios

virtuais; aulas remotas com professores e alunos; participação em eventos virtuais; consulta a bibliotecas virtuais; simulações, entre outros.

Apesar do considerável avanço das aplicações com a utilização dessa tecnologia, evidencia-se que os desafios quanto a pesquisa e o uso para fins educacionais ainda não são muitos. Além das soluções tecnológicas para as especificidades das demandas educacionais, que, em geral, são desenvolvidas por pesquisadores da área da tecnologia e computação. Também existe as questões pedagógicas, de engenharia, ergonomia, design, avaliação e de desenvolvimento de conteúdo.

Visando aplicação na educação, os desafios no uso da realidade virtual são exponencialmente maiores, mas os ganhos desta ferramenta são bastante promissores para o aprendizado. A utilização de ambientes baseados em simulações virtuais pode contribuir para aumentar a motivação do aprendizado, conforme observado por (Johnsen, et al, 2007), cuja pesquisa verificou o aprendizado efetivo e a transferência do aprendizado a partir destes ambientes.

Para Braga, (2001) existe três características básicas da realidade virtual ao relacioná-la com a educação, sendo elas: Imersão, a interação e o envolvimento. Olhando para esse fato, a incorporação da RVI na educação oferece uma série de benefícios significativos. Um deles seria a capacidade de envolver os estudantes em experiências imersivas, resultando em uma maior motivação para aprender, tornando o processo de ensino mais envolvente e interessante.

Além disso, a RVI tem a possibilidade de ilustrar conceitos e objetos, permitindo, assim, uma facilidade da compreensão de diversos temas. A acessibilidade também é uma vantagem notável, pois ela possibilita que os alunos realizem experiências que anteriormente eram desafiadoras e limitadas por falta de equipamento.

Por exemplo, no caso específico da aprendizagem nos laboratórios de Física experimental especificamente na Física Moderna a simulações virtuais dos fenômenos quânticos pode trazer oportunidades para a aprendizagem baseada em experiências práticas, permitindo que os alunos aprendam através da experimentação. Levando em consideração que, por diversas limitações como equipamentos em laboratórios, não conseguiriam fazer.

A tecnologias de imersão nas aulas de informática, estão se tornando bastante populares por se tratar de uma ferramenta que gera interação maior do aluno com o conteúdo. Perceba-se que ela se encontra em franca expansão no ambiente escolar, possibilitando ao aluno descobrir, explorar e construir seu próprio conhecimento” (Filho; Dias, 2019).

Da mesma maneira, a RVI também é vista no processo de ensino-aprendizagem como inovadoras no desenvolvimento das atividades didáticas criativas e estimulantes. Sua utilização permite vivenciar experiências dinâmicas com grande interatividade. Na verdade, a realidade virtual e aumentada são duas formas de realidades que permite um conhecimento de interação atrativa e dinâmica. Elas têm um impacto direto na motivação intrínseca do alunado de forma instantânea, já que seu aporte visual e interativo é surpreendente (Zapatero, 2007).

### **2.3 Simulações de Realidade Virtual Imersiva no Ensino de Física**

No ensino de Física, as simulações computacionais colocam o aluno em contato direto com os fenômenos físicos, sendo um manipulador de situações ali desenvolvidas, algumas imitam enquanto outras tentam se aproximar de um fenômeno real. Dessa maneira, é possível operar com algumas grandezas Físicas e observar esses resultados imediatamente.

As simulações virtuais podem ser organizadas em dois grupos, de acordo com suas características: as estáticas e as dinâmicas. Nas simulações estáticas, o estudante tem pouco ou nenhum controle sobre os parâmetros da simulação, enquanto, nas dinâmicas, os parâmetros podem ser modificados e, portanto, o estudante pode verificar as implicações de cada variável no resultado do fenômeno em estudo.

Conseqüentemente, o estudo da Física como ciências experimentais torna possível verificar e quantificar um fenômeno por meio da experimentação. Além disso, a característica fundamental é a capacidade de reproduzir o experimento repetidamente. Sendo assim, o aproveitamento das vantagens oferecidas pela realidade virtual se torna uma oportunidade valiosa para aprimorar o ensino.

Coelho (2002, p.39) apresenta algumas vantagens com relação ao uso de simulações virtuais no ensino de Física:

[...] os simuladores virtuais são os recursos tecnológicos mais utilizados no Ensino de Física, pela óbvia vantagem que tem como ponte entre o estudo do fenômeno da maneira tradicional (quadro e giz) e os experimentos de laboratório, pois permitem que os resultados sejam vistos com clareza, repetidas vezes e com um grande número de variáveis envolvidas.

Nesse sentido, é importante ressaltar a crescente importância dos simuladores virtuais no ensino de Física, atuando como uma valiosa conexão entre métodos de ensino, sendo eles mais flexíveis e com um poder de criatividade. A grande vantagem desses recursos tecnológicos reside na capacidade de proporcionar uma compreensão mais didática dos fenômenos físicos, permitindo que os resultados sejam observados, simulados de forma repetitiva.

Além disso, a flexibilidade dos simuladores virtuais possibilita a manipulação de várias variáveis, permitindo aos alunos explorar diferentes cenários e compreender como fatores diversos afetam os resultados. Assim, os simuladores virtuais podem contribuir no aprimoramento do ensino tornando o aprendizado mais envolvente e acessível.

A tecnologia de RVI oferece várias vantagens, em primeiro lugar, permite a criação de situações controladas e pensadas pelo professor. Em segundo lugar, proporciona controle total sobre o experimento em si. Terceiro, oferece aos estudantes uma percepção próxima à experiência real do experimento. Quarto, elimina qualquer risco no uso de materiais associado à realização do experimento. Por último, reduz a necessidade de ter instrumentos de laboratório físicos, à simulação opera com recursos virtuais imersivos que tornam seu funcionamento possível (Trampuz, 2023).

Nas simulações virtuais, os panoramas são demonstrações simbólicas em 360° colocado na superfície interna de um espaço virtual. Nesse sentido, a RVI pode ser uma ferramenta que também favorece a imaginação e a criatividade.

[...] “Apesar de haver uma forte tendência na simulação do ‘real’ nas aplicações de realidade virtual, a realização do imaginário é também de fundamental importância, em função das dificuldades de se comunicar conceitos e ideias inexistentes e de seu potencial de inovação. Até há alguns anos atrás, a única maneira de se retratar o imaginário era descrevê-lo verbalmente ou, quando possível, desenhá-lo ou representá-lo de maneira restrita como desenhos, esculturas, maquetes, animações ou filmes, com muitas limitações, seja de custo, de produção ou de interação. (Tori; Kirner, 2006, p.02,)

Do mesmo modo, destaca-se a importância de não limitar a realidade virtual à simples simulação do mundo real, mas reconhecer seu potencial para a realização do imaginário. Embora a realidade virtual seja frequentemente associada à recreação, precisa de ambientes do mundo real e seu valor vai além disso. Ela oferece a capacidade de visualizar e experimentar conceitos e ideias que podem ser abstratos ou inexistentes na realidade cotidiana.

Por conseguinte, a RVI torna-se uma ferramenta que abre portas para a inovação, permitindo que a criatividade floresça e novos horizontes sejam explorados. Ao superar as limitações de custo, produção e interação, a realidade virtual torna-se uma ferramenta poderosa para a expressão e comunicação de ideias abstratas e conceitos imaginativos.

Antes de adentrar a discussão sobre aprendizagem imersiva, é pertinente esclarecer que o valor pedagógico da realidade virtual não reside apenas ao mundo físico, mas, na sua capacidade de materializar o abstrato e tornar experiências, ideias, modelos e hipóteses que, fora do ambiente virtual seriam inacessíveis. Desse modo, quando a RVI é orientada por objetivos formativos e pedagógicos, ela transforma visualizações em experiências de aprendizagem, favorecendo a construção de significados e análise crítica.

#### **2.4 Aprendizagem imersiva (I-learning) nos ambientes virtuais:**

De acordo com Laux e Schlemmer, (2011), o *immersive learning (i-learning)* consiste em uma possibilidade educacional cujos processos de ensino e de aprendizagem ocorrem em ambientes gráficos em 3D (os mundos virtuais), criados a partir do uso de diferentes tecnologias que proporcionam a visualização 3D, nos quais

os sujeitos participam de forma imersiva. Assim, a realidade virtual é compreendida como um conjunto de tecnologias e metodologias que possibilita a criação de ambientes gráficos, interativos e imersivos.

Estamos constantemente inseridos em ambientes tecnológicos e isso faz com que o professor/alunos esteja em constante aprendizado. De acordo (Bainbridge, 2010), os mundos virtuais são definidos como ambientes online persistentes gerados por computador onde as pessoas podem interagir, seja para trabalho, estudo ou lazer, de uma forma comparável ao mundo real.

Segundo Voss et al, (2014), a interação nesses ambientes é feita através de avatares, que são a representação virtual dos usuários. O modelo de educação imersiva visa proporcionar espaços bidimensionais e tridimensionais, nos quais os alunos possam viajar e viver experiências em um ambiente altamente interativo, para que possa ter uma aproximação com o mundo real no ambiente virtual (Orgaz, et al, 2012). O metaverso ou mundo virtual também permite ao usuário desenvolver um conjunto de tarefas, como gerenciar experimentos simulados, alterar variáveis, entre outras, mas sem o risco de consequências inerentes às mesmas atividades quando realizadas em laboratórios reais.

Desta forma, Abreu, Oliveira e Battestin (2020) afirmam que, na educação, o objetivo da utilização de ambientes imersivos é tornar as atividades educativas mais divertidas, atrativas e eficazes para os alunos nesses ambientes simulados, onde possam oferecer desafios que provoquem também investigação e descoberta como consumo de informações espontâneas e atividades lúdicas interativas.

Nesse sentido, por exemplo, a RVI é uma experiência envolvente e interativa com o mundo virtual em tempo real, possibilitada por dispositivos (hardware) tecnológicos. No ambiente educacional, a crescente acessibilidade das tecnologias de RVI oferece oportunidades para educadores criarem aulas mais envolventes e dinâmicas. Dessa forma, os alunos podem explorar conceitos de forma interativa e didática.

Nessa perspectiva, o conceito de aprendizagem imersiva se caracteriza, de forma geral, pela relação entre tecnologias digitais 3D e ações educativas visando a construção de conhecimento de maneira significativa e na qual o aluno possa desempenhar um papel ativo (França; Silva, 2019). Para Rocha et al. (2020):

[...] O Immersive learning (I-learning), também conhecida por aprendizagem imersiva, é a modalidade que compreende os processos de aprendizagem que ocorrem em ambientes virtuais tridimensional (3D), os chamados metaversos criados a partir de diferentes tecnologias digitais capazes de propiciar aprendizagem imersiva, por meio do desenvolvimento de Experiências Ficcionalis Virtuais.

Entretanto, a integração de maneira sucedida de ambientes virtuais na educação requer um planejamento cuidadoso, junto com a formação adequada nos professores. Além disso, são necessários investimentos em equipamentos e conteúdo virtual de qualidade. Para garantir uma experiência educacional adequada ao ambiente. Assim, esse tipo de tecnologia deve ser utilizado de forma complementar a outros métodos de ensino, permitindo aos alunos colher os benefícios da imersão e interação virtual enquanto mantêm uma base sólida dos conteúdos de estudo.

Para isso, segundo Viera e Brazão (2022), na atualidade, reconhece-se o potencial que a tecnologia digital e, mais especificamente, os ambientes virtuais e imersivos podem ter na emergência e no desenvolvimento de ambientes de aprendizagem dinâmicos, interativos, envolventes, adaptáveis, personalizáveis, contextualizáveis e desafiantes para os estudantes, com vista a possibilitar novas ferramentas, além de experiências que contribuem na aprendizagem e, também, ajudem na aplicação dos conteúdos, por exemplo, da disciplina de Física, ministradas por meio de conteúdos teórico-práticos, seja de forma real ou simulada.

Desta maneira, Abreu, Oliveira e Battestin (2020) afirmam que na educação, o objetivo do uso de ambientes imersivos é tornar as atividades educacionais mais divertidas, atraentes e efetivas para os estudantes nesses ambientes simulados, onde podem ofertar desafios que provoquem a investigação e a descoberta, além do consumo de informação espontânea e atividades lúdicas interativas.

Contudo, a tecnologia, por se só, não assegura a consolidação conceitual, exigindo do professor um planejamento dentro da mediação pedagógica que confere intencionalidade didática às experiências criadas com a utilização da tecnologia. Nessa direção, a RVI deve ser compreendida como um instrumento cultural de mediação que articula tarefas investigativas, linguagem, signos, análise, sendo elementos que favorecem a explicitação de modelos mentais, a argumentação baseada em evidências e revisão de concepções previamente estudadas.

Desse modo, focando nos processos de ensino da Física Moderna onde os conteúdos tem gradus elevados de abstração, a RVI contribui ao transformar essas abstrações em situações-problemas manipuláveis. O professor, por sua vez, estrutura trilhas de investigação, regula a dificuldade das tarefas e provoca deslocamentos conceituais por meio das situações apresentadas nos ambientes virtuais imersivos.

Esse enquadramento nos conduz diretamente a perspectiva teórica dentro do construtivismo em Lev Vygotsky, no qual ferramentas, instrumentos e signos sendo organizados e aplicados nos ambientes imersivos, ampliada aprendizagem na ZDP, ancorando a passagem do fazer situado para a internalização de conceito científicos.

## **2.5 Construtivismo na Visão de Lev Vygotsky**

A epistemologia pode ser o coração do construtivismo. Segundo Confrey (1990), a própria epistemologia é a nova concepção de conhecimento de forma geral, e conhecimento científico em particular, onde se vem alimentando décadas de entusiasmo construtivista. Considera-se em termos mais simples, que o construtivismo pode ser apresentado essencialmente como uma teoria sobre os limites do conhecimento humano, olhando para uma crença de que todo conhecimento é produto de nossos próprios atos cognitivos, refletindo também que não se pode ter conhecimento direto o imediato de qualquer realidade, mas podemos construir nossos conhecimentos através das nossas experiências sejam elas reais ou virtuais.

A abordagem construtivista foi gerada a partir de muitas ideias que, por meio da história, foram levantadas por filósofos, incluindo pré-socráticos, em particular Xenófanes (570-478 a.C.), que afirma que: "Os mortais não são instruídos pelos deuses desde seu nascimento" (Araya; Alfaro; Andonegui, 2007, p. 81), e toda teoria deve ser aceita desde que tenha concorrência com outras; e, assim, por meio da análise crítica e da discussão racional, nos permitirá chegar mais perto da verdade.

Neste sentido, as correntes do construtivismo oferecem diversas teorias que procuram fazer análises críticas da forma com a qual o ser humano constrói sua aprendizagem.

[...] defendemos que o construtivismo é uma postura epistemológica que entende que o conhecimento se origina na interpretação do sujeito com a realidade ou desta com o sujeito, seja ela a realidade Física, social e/ou cultural. (Moraes, 2003, p.116).

Percebe-se que nas últimas décadas, tem-se um amplo uso do construtivismo em diversas pesquisas na área de ensino. Este fato tornou-se um problema em si mesmo, uma vez que várias dessas abordagens são bastante diversas ontológica e epistemologicamente (Castañon, 2015).

Para Leontiev, Luria e Vygotsky, (1991), o processo de aprendizagem envolve interação social, destacando cinco conceitos fundamentais em sua teoria: funções mentais, habilidades psicológicas, zona de desenvolvimento proximal, ferramentas psicológicas e mediação.

As funções mentais são classificadas em dois tipos: inferior e superior. As funções mentais inferiores são determinadas geneticamente e sua manifestação é limitada. Por sua vez, as funções mentais superiores, são desenvolvidas através da interação social, são mediadas culturalmente e a sociedade em que o indivíduo está localizado as determinará. O conhecimento é determinado pela interação social somando a essas interações sociais e tecnológicas, desde que tomamos consciência de nós mesmos, dos símbolos e de seu uso. Além disso, a partir dessa perspectiva pode-se pensar que os alunos devem aprender por si mesmos por meio de descobertas, mas também com o trabalho com outros estudantes, de modo cooperativo, bem como com os professores atuando como mediadores.

Para Tirado, (2010), na teoria de Vygotsky, a educação ocorre no ambiente sociocultural real, por isso a análise realizada por eles tratou da educação escolar, de acordo com a perspectiva de que a aprendizagem escolar sucede ao desenvolvimento social. Em outras palavras, a pessoa é construída de fora para dentro no campo das relações sociais; portanto, o que é aprendido socialmente, precede a consciência e atividade psíquica individual.

Essas teorias são válidas na educação atual, a diferença está nos avanços e evoluções que vêm ocorrendo ao longo dos anos. Por exemplo, os desenvolvimentos tecnológicos, que se constituem em ferramentas que ajudam no processo de ensino

e no aprendizado. Pois elas promovem experiências de trocas sociais. Assim, é essencial que o professor promova mudanças nos planos, planejamento e estratégias pedagógicas de ensino para acompanhar esses avanços sociais.

Vygotsky em sua teoria introduz o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), pelo que postula a existência de dois níveis evolutivos. O primeiro nível é denominado evolutivo real, ou seja, trata-se do nível de desenvolvimento das funções mentais da criança, onde o nível geralmente investigado ao medir, por teste, é o estágio mental das crianças. Considerando o pressuposto que apenas as atividades que eles podem realizar sozinhos são indicadores de habilidades mentais.

O segundo nível chamado de desenvolvimento potencial, onde torna-se evidente diante de um problema que a criança não pode resolver por conta própria, mas que é capaz de resolver com a ajuda de um adulto ou de um parceiro capaz. Segundo Vygotsky, (1991, p. 142), o aprendizado depende da existência anterior de estruturas mais complexas nas quais os novos elementos são integrados, mas essas estruturas são sociais, e não individuais. Em vez de um processo de assimilação-acomodação, é um processo de apropriação do conhecimento externo.

De acordo com essa perspectiva, o ser humano é, antes de tudo, um ser cultural e é isso que estabelece a diferença entre seres humanos e outros tipos de seres vivos. O ponto central dessa distinção entre funções mental inferiores e superiores é que o conhecimento do indivíduo não está apenas diretamente relacionado ao seu ambiente, mas também com outros indivíduos por meio de interações sociais.

O desenvolvimento da aprendizagem em sala de aula, ambiente de constante interação social, deve possibilitar ao aluno fazer uso dessas interações, que por natureza estão presentes, vinculadas à incorporação de estratégias de ensino por parte do professor, em um processo que faz uma conexão perfeita para a aquisição de novos conhecimentos.

Da mesma forma, Moreira (2011), destaca que o conhecimento é um produto mediado pela cultura e pelas interações sociais. O ser humano desde o nascimento não se torna isolado, interage com os pais, com adultos na família, com outras crianças, e da mesma forma quando adolescentes e adultos está sempre cercado de interações sociais. Em certo sentido, a teoria sociocultural se baseia no fato de que a

atenção, a memória e a formulação de conceitos são, primeiro, um fenômeno social e depois, progressivamente, se tornam uma propriedade do indivíduo.

Para melhor esclarecer esse pensamento de Vygotsky, destaca-se o que segue:

[...] o professor deverá tomar como ponto de partida o que o aluno já conhece e domina para, então, atuar ou interferir na zona de desenvolvimento potencial, levando a criança a alcançar novas aprendizagens, que, por sua vez, impulsionam o desenvolvimento e concretizam outras novas aprendizagens. (Nogueira; Leal, 2015, p. 161).

Então, a aprendizagem por meio da interação social é o ponto chave da abordagem teórica sociocultural, onde o aspecto essencial das práticas pedagógicas é desenvolvido à luz dos métodos ativos e colaborativos de aprendizagem. Vale a pena ressaltar que atualmente essas interações sociais são fortemente influenciadas pelas diferentes ferramentas tecnológicas digitais as quais os alunos têm acesso.

Atualmente, todo esse conhecimento pode ser usado para tornar-se uma aula mais atraente e interessante para o aluno. Ainda aplicados aos processos de ensino e aprendizado na Física Moderna, onde os conteúdos são altamente abstratos precisado do aluno ter alta capacidade de imaginação dentro dos fenômenos quânticos. Essas barreiras podem ser amenizadas com uso de tecnologias que funcionem como instrumento de mediação simbólica para que o aluno consiga reforçar o aprendizado.

Assim, ao sentir mais engajamento nas atividades práticas com experiência no contexto individual e coletivo, o indivíduo se apropria da linguagem, assimila conhecimentos culturais acumulados e incorpora ferramentas Físicas historicamente desenvolvidas. A coletividade e a interação social não são apenas cenários para o desenvolvimento, mas constituintes fundamentais que influenciam a formação das capacidades cognitivas.

Dessa maneira, poderíamos pensar que o uso da tecnologia pode ser concebido para promover a aprendizagem, permitindo que os alunos interajam e compartilhem conhecimentos. Plataformas de aprendizagem e ferramentas colaborativas oferecem oportunidades para a participação ativa em atividades

práticas, simulando interações sociais que são cruciais no modelo de Vygotsky. Além disso, a personalização do aprendizado por meio da tecnologia pode-se adaptar ao ambiente virtual levando em consideração as necessidades individuais, aproximando-se da ZDP de cada aluno.

## **2.6 Processo de mediação na visão Vygotskiana**

A mediação, enquanto processo humano fundamental, se vale de uma vasta gama de instrumentos concebidos ao longo da história. Estes instrumentos, que variam desde simples ferramentas Físicas até complexos sistemas tecnológicos, que não apenas facilitam o desenvolvimento e a aprendizagem, mas também transcendem esses processos. É a partir desses processos que o ser humano define, constitui o pensamento, a linguagem e desenvolve as funções mentais superiores (Vygotsy; Luria,1994). A mediação constituída pelo uso de signos é a atividade interna do indivíduo, enquanto os instrumentos são de natureza externa. Como afirma Ripper (1993, p. 25):

[...] a mediação por signo e instrumento são de natureza diversa, enquanto o signo constitui uma atividade interna dirigida para o controle do próprio sujeito, o instrumento é orientado externamente, para o controle da natureza. Tanto o controle do comportamento como o da natureza acarretam mudanças no funcionamento cognitivo.

Por outro lado, as formas de mediação, seja através de signos ou instrumentos, têm o poder de promover mudanças no funcionamento cognitivo. O controle do comportamento, mediado por signos internos, e o controle da natureza, mediado por instrumentos externos, desencadeiam processos mentais e adaptativos que influenciam o desenvolvimento cognitivo do indivíduo. Essa distinção sublinha a complexidade das influências externas e internas na formação das capacidades cognitivas humanas, evidenciando a interconexão entre a atividade mental, o ambiente e as ferramentas utilizadas.

Porquanto, pode-se olhar para os processos de ensino de Física sobre essa perspectiva de Vygotsky. Pensar em: Como está sendo essas interações sociais e de

mediação no estudo da Física hoje? Será que existem novas formas de aprender relacionando novas linguagens e instrumentos de aprendizagem?

Nesse sentido, a mediação é essencial para facilitar a compreensão dos conceitos científicos. Isso se manifesta através de uma variedade de estratégias, incluindo o uso de demonstrações visuais, simulações computacionais e vídeos para visualizar fenômenos físicos complexos. Além disso, a realização de experimentos práticos em laboratório permite a orientação direta de professores ou colegas mais experientes, promovendo a ZDP.

Segundo Vygotsky (1998), a compreensão da mediação é fundamental, já que consiste na relação do ser humano com o mundo e com os outros seres humanos, é justamente a partir desse processo que se desenvolvem as funções psicológicas superiores. Porque a relação do ser humano com o mundo não é uma relação direta, mas, fundamentalmente, uma relação mediada por ferramentas auxiliares da atividade humana.

A mediação ocorre por meio dos instrumentos, também denominados ferramentas ou elementos mediadores, que podem ser de duas naturezas: (a) Física ou material que alteram o meio físico e o sujeito da ação, instrumentos a partir das ações concretas; (b) representacional ou de signos, em que ocorrem e mudam a relação do ser humano consigo mesmo e com os outros, instrumentos psicológicos que atuam nas questões internas do indivíduo. Assim Vygotsky (1998) esclarece que:

[...] a invenção e o uso de signos como meios auxiliares para solucionar um dado problema psicológico (lembrar, comparar coisas, relatar, escolher, etc.) é análoga à invenção e uso de instrumentos, só que agora no campo psicológico. O signo age como um instrumento da atividade psicológica de maneira análoga ao papel de um instrumento de trabalho.

Uma das propriedades do signo consiste na significação, ou seja, dar o significado do mundo, já que o nosso contato com o mundo físico e social não é direto. Sendo marcado pelas experiências, possibilidades e histórias de vida. Na concepção de Vygotsky, a pessoa ao nascer já é ser social que, a partir da apropriação dos

significados gerados nas relações sociais, constitui-se enquanto sujeito, capaz de regular voluntariamente suas ações.

No contexto do ensino de Física, a concepção de Vygotsky sobre a invenção e uso de signos como meios auxiliares para solucionar problemas psicológicos, pode ser relacionada ao processo de aprendizagem e compreensão de conceitos físicos complexos. Analogamente à criação de instrumentos para controlar a natureza externa, a introdução de representações simbólicas, como por exemplo, fórmulas matemáticas, gráficos, ou modelos conceituais, pode ser vista como a invenção de “signos” no campo psicológico.

Esses signos não apenas auxiliam os alunos na organização mental de informações, mas também pode servir como ferramentas para abordar e resolver problemas físicos, como analisar padrões, realizar cálculos ou explicar fenômenos. Assim também, ao incorporar estratégias que promovem a invenção e uso de signos na aprendizagem da Física, os educadores podem potencializar a capacidade dos alunos para enfrentar desafios conceituais, proporcionando uma abordagem mais ativa e significativa para a construção do conhecimento.

Em analogia, a abordagem da mediação simbólica na aprendizagem dos fenômenos da Física é bem representativa. Dentro das opções de linguagem simbólica tem-se diagramas, figuras e representações gráficas. Onde os alunos podem manipular conceitos quânticos abstratos, transformando-os em instrumentos cognitivos que facilitem a compreensão. Além disso, a interseção entre a mediação simbólica e o aprendizado da Física, torna possível construir pontes conceituais que tornam mais acessíveis e significativos os aspectos aparentemente abstratos e desafiadores dessa área da Ciência.

Como um instrumento tecnológico destaca-se a realidade virtual, utilizando ambientes em 3D para simular fenômenos quânticos e proporcionar interações imersivas, onde o aluno experimenta a sensação de estar no ambiente virtual que simula a realidade Física. A abordagem de Vygotsky será usada para compreender como a mediação pode promover o desenvolvimento cognitivo na aprendizagem de conceitos físicos como o da Dualidade Onda-Partícula como conteúdo escolhido para esta pesquisa. Dessa maneira, a percepção do que é real na realidade virtual é examinada, contextualizando a experiência imersiva na assimilação de conceitos.

A mediação pode ser expressa em duas dimensões interdependentes; a mediação cognitiva, que conecta o sujeito ao objeto de conhecimento e a mediação pedagógico-didática, onde o professor atua intencionalmente para criar condições que favoreçam essa conexão. Essa segunda dimensão não apenas orienta o percurso da aprendizagem, como também possibilita ao estudante acionar seus próprios processos mentais em direção ao desenvolvimento. Nesse contexto, o papel do professor é fundamental para ativar a ZDP que é a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real e o nível de desenvolvimento potencial do aprendiz (Lenoir, 2009).

Desse modo, a RVI pode ser compreendida como instrumento mediador que integra de forma indissociável, signos, símbolos, experiências simuladas e interações. Ao permitir que o aluno visualize e experimente o ambiente virtual manipulando variáveis ao observar características no comportamento dual da luz que contribui no campo de significados para a construção e reflexão cognitiva.

Com os avanços da tecnologia e as mudanças nos métodos de ensino, as pesquisas e o uso de ambientes virtuais de aprendizagem tem aprimorado a experiência dos alunos. Para alguns, “virtual” evoca um mundo artificial que substitui a vida real. Mas os ambientes virtuais de aprendizagem não substituem as salas de aula nem as práticas educacionais existentes. Eles realçam e agregam valor à medida que estendem o espaço do ambiente físico.

Ao articular a concepção de mediação simbólica como o uso de tecnologia imersiva no ensino de Física Moderna, especialmente no estudo da Dualidade Onda-Partícula, esta pesquisa busca evidenciar que o desenvolvimento conceitual não é um efeito automático da utilização da tecnologia, mas é um resultado de um processo intencional de intervenção pedagógica. Sendo que o professor precisa planejar as situações didáticas nas quais a RVI funcione como instrumento que permita ao aluno experiências que possibilitem uma reflexão guiada por uma aprendizagem mais ativa.

### 3. UM OLHAR PARA A DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA/EFEITO FOTOELÉTRICO.

Neste capítulo apresenta-se uma descrição teórica com o objetivo de trazer uma discussão histórica e epistemológica na evolução das teorias quânticas que abordam os fenômenos que relaciona esta pesquisa dentro do estudo subatômico das partículas e como é sua interação com o meio.

Quando um físico fala de Física moderna, não é aquela Física “nova” a mais “recente”, levando em consideração a definição da palavra “moderna”. O significado é um pouco diferente, já que a expressão é utilizada para designar um determinado campo dentro do estudo da Física com duas características em comum, um antes e um depois dos anos 1900. A transição da Física Moderna marcou um momento crucial na revolução do entendimento humano sobre a natureza da realidade (Eisberg, 2000).

No ano 2025 foi comemorado o Ano Internacional da Ciência e Tecnologias Quânticas decretado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO<sup>4</sup> em 2024. Propondo celebrar os 100 anos desde a aparição das primeiras teorias quânticas. Nesse sentido, apresenta-se uma discussão entre modelos teóricos que procuram por encontrar respostas a uma das questões mais pesquisadas nos últimos séculos: O que é a luz? Como é a interação da luz com a matéria?

Durante séculos, as leis da Física Clássica, formulados por mentes brilhantes entre eles Isaac Newton<sup>5</sup> e James Clerk Maxwell<sup>6</sup>, forneceram teorias que ajudaram na compreensão e comportamento de partículas em movimento, propagação de ondas eletromagnéticas e muitos outros fenômenos observáveis. No entanto, as leis de Newton são válidas apenas em referenciais inerciais

Levando isso em consideração, a mecânica newtoniana não pode ser aplicada a todas as situações. Se as velocidades dos corpos envolvidos são muito grandes, comparáveis à velocidade da luz, a mecânica newtoniana deve ser

---

<sup>4</sup> <https://quantum2025.org/>

<sup>5</sup>Isaac Newton (1643-1727) Foi um físico, astrônomo e matemático inglês. Seus trabalhos sobre a formulação das leis do movimento levaram à lei da gravitação universal. A composição da luz branca conduziu à Física óptica. Na matemática ele lançou os fundamentos do cálculo infinitesimal.

<sup>6</sup>James Clerk Maxwell (1831-1879). Foi um físico e matemático escocês. Estabeleceu a relação entre eletricidade, magnetismo e luz.

substituída pela teoria da relatividade restrita, de Einstein, que é válida para quaisquer velocidades. Se os corpos envolvidos são muito pequenos, de dimensões subatômicas (como, por exemplo, os elétrons de um átomo), novamente a mecânica newtoniana deve ser substituída pela mecânica quântica (Halliday; Resnick, 2015).

O termo oposto à Física Moderna é Física Clássica. Isso inclui, além do estudo da mecânica de Newton, a teoria dos fenômenos eletromagnéticos de Maxwell, onde sua teoria estabeleceu que a luz seria uma forma de onda eletromagnética que se propagaria pelo espaço, assim como os raios X, os raios  $\gamma$ , raios ultravioletas e as radiações infravermelhas. Também parte da Física Clássica, a termodinâmica, a teoria cinética dos gases, entre outras teorias. Em geral, fenômenos que podem ser observáveis em grande escala. Já nos temas que a Física Moderna estuda, tem-se como exemplo: a teoria da relatividade, fenômenos subatômicos chamados de quânticos e, em particular, a aplicação das teorias da relatividade e da quântica ao átomo e ao núcleo e assim por diante.

A virada do século XIX para o século XX testemunhou uma série de descobertas revolucionárias, incluindo a teoria de relatividade de Einstein e o desenvolvimento da mecânica quântica. Essas teorias introduziram conceitos novos como a simultaneidade, a dilatação do tempo, a dualidade onda-partícula, entre outras. À medida que os experimentos confirmavam esses conceitos, a comunidade científica começou a aceitar que a nova era na Física estava surgindo. Assim, a transição da Física Clássica para a Física Moderna não foi apenas uma mudança de paradigma científico, mas também um catalisador para a exploração de novas fronteiras do conhecimento e para a revolução tecnológica.

Nesse cenário de transformações. Em 1913 Niel Bohr<sup>7</sup> propôs um modelo atômico que representou um passo decisivo nos inícios da Física Moderna. Bohr considerou o modelo nuclear de Rutherford, admitindo que o átomo é formado por um núcleo positivo, em torno do qual elétrons descrevem órbitas semelhantes às trajetórias clássicas. Seu modelo explicou, de maneira elegante, a estabilidade do átomo de hidrogênio e as linhas espectrais observadas experimentalmente,

---

<sup>7</sup>Físico dinamarquês Niels Henrik David Bohr. Nascido no dia 7 de outubro de 1885, em Copenhague. Foi um dos fundadores da chamada Física dos átomos (ou Física atômica). Em 1913, ele propôs um modelo para o átomo de hidrogênio baseado em conceitos preliminares da teoria quântica.

mostrando que somente certos níveis de energia eram permitidos e que a luz emitida correspondia à diferença entre esses níveis (Martins; Rosa, 2004).

A partir dessa breve explicação, aborda-se principalmente os estudos dentro da teoria corpuscular da luz, desde a teoria clássica para a quântica, posteriormente passando pela Dualidade Onda-Partícula e o Efeito Fotoelétrico que são os temas principais desta tese.

### **3.1 Discussões sobre a teoria Ondulatória e Corpuscular da Luz**

A natureza da luz, ao longo da história, relaciona duas teorias principais que explicam seu comportamento. Sendo elas: a teoria corpuscular da luz, proposta por Isaac Newton no século XVII e a teoria ondulatória da luz, desenvolvida por Christian Huygens<sup>8</sup>, Thomas Young, Fresnel, entre outros. A teoria corpuscular considerava a luz como partículas minúsculas, enquanto a teoria ondulatória descreve o comportamento das ondas eletromagnéticas. Ambas teorias explicaram certos fenômenos ópticos com sucesso, mas desafios surgiram quando fenômenos como interferência e difração não puderam ser adequadamente explicados pela teoria corpuscular.

Nesse sentido, esses fenômenos levaram ao reconhecimento do que se chama hoje Dualidade Onda-Partícula da luz na Física Moderna, onde explica-se que a luz em alguns momentos se comporta como uma onda e em outros como partícula, dependendo do contexto experimental. Essa dualidade é uma das pedras angulares da mecânica quântica e ilustra como a ciência evoluiu para abraçar complexidades na natureza da luz.

Dentro dos indicadores de identidade da luz no final do século XVII, Newton usou uma teoria corpuscular onde afirmava que a luz estava composta por partículas capazes de rebater em um espelho, logrando assim explicar a propagação retilínea da luz. (Tipler; Mosca, 1999). Posteriormente, após os avanços das investigações renascentistas, Fermat introduziu uma perspectiva contrária a Newton, propondo uma

---

<sup>8</sup>Christian Huygens. (1629-1695). Matemático, astrónomo e físico holandês. Foi o fundador da teoria da onda luminosa, ao formular o princípio segundo o qual se pode considerar cada ponto de uma onda como o ponto de partida de uma onda esférica.

relação inversa entre a velocidade da luz e a densidade do meio em que ela se propaga. Fermat, um renomado matemático francês do século XVII, contribuiu significativamente para o entendimento da óptica e da natureza da luz.

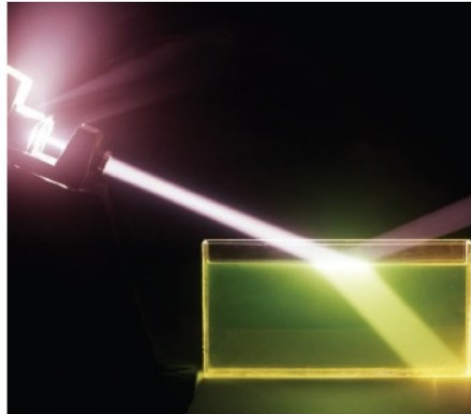
Dessa maneira, ele formulou o Princípio de Fermat, que postula que a luz segue o caminho em menor tempo para viajar entre dois pontos. Além disso, ele sugeriu que a velocidade da luz varia dependendo do meio em que está se propagando, sendo inversamente proporcional à densidade desse meio. Essas ideias foram fundamentais para a compreensão moderna da óptica e da luz, influenciando a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias ópticas ao longo dos séculos.

Na atualidade, as inovações tecnológicas continuam na busca por uma compreensão mais profunda dos fenômenos ópticos, respondendo a perguntas que têm sido objeto de debate por décadas: Como a luz se comporta? O que exatamente é a luz?

Acredita-se que a luz é uma onda eletromagnética (teoria eletromagnética de Maxwell), e, portanto, exibe natureza ondulatória. Mas, isto não é uma verdade completa, como veremos mais à frente. No mundo antigo, os filósofos gregos acreditavam que a luz era formada por pequenas partículas, as quais se propagavam em linha reta e com alta velocidade. Essa explicação permaneceu indiscutível por muito tempo até que, por volta do ano de 1500, Leonardo da Vinci percebeu a semelhança entre a reflexão da luz e o fenômeno do eco e levantou a hipótese de que a luz era um movimento ondulatório. (Serway, 2004).

Na busca pela definição sobre a natureza da luz, Christian Huygens foi um dos primeiros em propor uma teoria ondulatória para a luz, aproximadamente em 1678. Ele explicou as leis da reflexão e refração em termos de ondas e atribuiu um significado físico ao índice de refração. Seu interesse era demonstrar que a luz difrata ao passar por aberturas ou contornar obstáculos, comportando-se como uma onda.

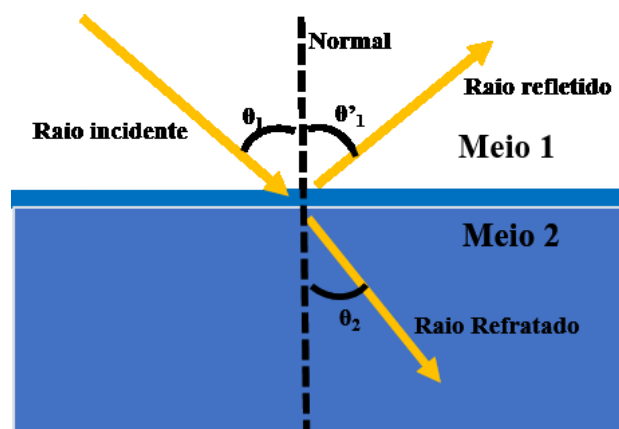
**Figura 3 – Esquema de onda luminosa se propagando em linha reta através de dois meios (ar e água).**



Fonte: Halliday; Resnick, (2016).

Nesse sentido, houve um procedimento experimental para saber qual das duas teorias fariam previsões segundo o comportamento da luz e de acordo com as hipóteses, ambas as teorias, a de Newton e a de Huygens, devem ser discutidas. Se perguntando, porque na refração um raio de luz ao entrar no meio 2 (por exemplo água) se aproxima do normal. Nesta época se conhece os fundamentos da óptica geométrica, por meio de Willebrord Snellius que, por volta de 1621 nos estudos da lei da refração da luz. Considerando como hipótese principal o desvio que um raio de luz ao entrar no meio como por exemplo água, sofre um pequeno desvio se aproximando da normal? foi assim onde o Snell formula sua lei o que conhecemos hoje como lei da refração, considerando os estudos de Huygens.

**Figura 4 – Esquema dos raios de luz segundo a lei de Snell.**



Fonte: Autoria própria (2023)

Quando a luz encontra uma interface de dois meios transparentes, parte da luz em geral é refletida e parte é refratada. Os dois raios permanecem no plano de incidência. O ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência, e o ângulo de refração  $\theta_2$  está relacionado ao ângulo de incidência  $\theta_1$  pela lei de Snell. (HALLIDAY; RESNICK, 2016).

$$n_1 \sen \theta_1 = n_2 \sen \theta_2 \text{ (lei de refração);}$$

Onde,  $n_1$  e  $n_2$  são os índices de refração dos meios em que se propagam, respectivamente, o raio incidente e o raio refratado.

Durante um período considerável, a visão predominante era a proposta por Isaac Newton. Em 1704, em seu livro “Opticks”, Newton apresentou uma teoria mais concreta, embora já sugerida e aceita, de que a luz consistia em partículas extremamente pequenas (corpúsculos) que se moviam em trajetórias lineares, enquanto a matéria era composta por partículas maiores.

Contudo, algumas décadas depois, em 1818, Augustin-Jean Fresnel desafiou essa concepção ao demonstrar que a luz exibia comportamentos ondulatórios, como a difração e interferência. Para isso, Fresnel baseou-se nas teorias ondulatórias desenvolvidas por Huygens, que até então eram aplicadas apenas para descrever ondas mecânicas. Essa mudança de perspectiva representou um importante avanço na compreensão da natureza dual da luz, abrindo caminho para a teoria ondulatória da luz.

### 3.2 Thomas Young e sua teoria Ondulatória da luz

Thomas Young<sup>9</sup> foi um cientista britânico que desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento da teoria ondulatória da luz no início do século XIX sobre o princípio de interferência da luz. Young demonstrou experimentalmente o comportamento da luz como onda com o experimento da dupla fenda. Apesar disso, a aceitação da sua proposta prolongou-se por mais algumas décadas, até receber a valiosa contribuição de Fresnel que forneceu evidências sólidas para apoiar a ideia de que a luz é uma onda (Moura; Boss, 2015).

---

<sup>9</sup>Thomas Young, (1773-1829, Londres). Médico e físico inglês que estabeleceu o princípio da interferência da luz e, assim, ressuscitou a centenária teoria ondulatória da luz.

O principal trabalho de Thomas Young em direção a sua teoria ondulatória da luz foi publicado em 1802, na *Philosophical Transactions*, intitulado “*On the Theory of Light and Colours*” (1802). Nesse, Young traz uma versão inicial de seu princípio de interferência:

Quando duas Ondulações, a partir de diferentes origens, coincidem perfeitamente ou quase [coincidem] em Direção, seu efeito conjunto é uma Combinação dos Movimentos pertencentes a cada uma [delas] (Young, 1802, p. 34 apud Moura; Boss, 2015, p. 16).

Young destaca o princípio fundamental da interferência de ondas. Ele descreve a situação em que duas ondas, originárias de fontes diferentes, coincidem em direção e fase. Quando isso ocorre, os movimentos individuais de cada onda se combinam para formar um efeito conjunto. Se as duas ondas estiverem em fase, ou seja, seus picos e vales coincidirem, elas se somam construtivamente, resultando em uma amplitude maior.

Por outro lado, se estiverem fora de fase, ocorrerá uma soma destrutiva, levando a uma amplitude menor ou até mesmo à anulação da mesma. Esse conceito é essencial para a compreensão de fenômenos de interferência de ondas, fenômeno onde as ondas se combinam para criar padrões complexos de reforço e cancelamento, como os observados no famoso experimento da dupla fenda.

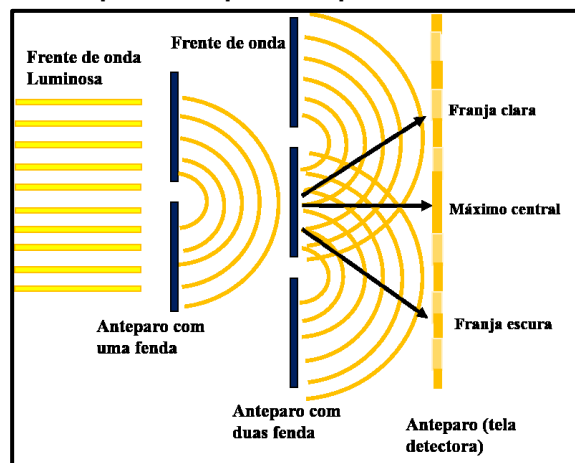
Nesse trabalho, há uma discussão inicial em torno do fenômeno de difração na tentativa de estabelecer a teoria ondulatória da luz. Sendo que o fenômeno de difração era de particular interesse. Se pudesse ser mostrado que a luz se desvia de seu curso retilíneo, curvando-se em torno de obstáculos, na difração, a maior objeção à teoria ondulatória seria removida, uma vez que corpuscularistas, desde a época de Newton, se baseavam na propagação aparentemente retilínea da luz para criticar qualquer teoria que defendesse a luz como uma propagação em um determinado meio.

Neste sentido, Young provou experimentalmente que a luz é uma onda ao demonstrar que a luz sofre interferência, como as ondas do mar, as ondas sonoras e todos os outros tipos de ondas. Além disso, conseguiu medir o comprimento de onda

médio da luz solar; o valor obtido, 570 nm, está surpreendentemente próximo do valor atualmente aceito, 555 nm. (Halliday; Resnick, 2016).

A figura 5 representa a configuração usada no experimento de Young. A frente de onda luminosa proveniente de uma fonte monocromática ilumina o anteparo com uma fenda. A luz é difratada por essa primeira fenda dando origem a uma frente de onda coerente, com uma única fase. Na sequência, ela se espalha chegando iluminar o anteparo com duas fendas. Nesse caso acontece uma nova difração quando a luz atravessa essas duas fendas gerando duas ondas luminosas esféricas que se propagam simultaneamente no espaço e interferindo uma com a outra. Essas interferências podem ser projetadas no outro anteparo (tela de projeção) como é mostrado na figura 5;

**Figura 5 - Exemplo de esquema experimental de Thomas Young.**



Fonte: Autoria própria (2023)

Nesse caso, os pontos em que as ondas se reforçam formam listras iluminadas, denominadas franjas claras proveniente de uma interferência construtiva, observadas ao longo da tela de projeção. Consequentemente os pontos em que as ondas se cancelam formam listras sem iluminação, denominadas franjas escuras provenientes de interferência destrutiva.

Enquanto Huygens lograva dar explicação ao fenômeno de difração da luz, Young fazia parte do fenômeno de interferência baseando-se nas explicações sobre as hipóteses ondulatórias. Segundo Halliday e Resnick (2016), para as condições do experimento de dupla fenda Young usou a relação entre a distância  $d$  nas fendas, o

comprimento de onda  $\lambda$  da luz e o ângulo  $\theta$  que os raios fazem com o ângulo central para determinar os mínimos de brilho (franjas escuras) e os máximos de brilho (franjas claras) como se apresenta na figura 5.

Dentro dessa relação as equações básicas do fenômeno são as seguintes:

$$d \operatorname{sen}\theta = m\lambda; \text{ para } m = 1, 2, 3 \dots (\text{máximos, franjas claras})$$

$$d \operatorname{sen}\theta = (m + \frac{1}{2})\lambda; \text{ para } m = 1, 2, 3 \dots (\text{mínimos, franjas escuras})$$

Onde  $d$  é a distância entre as fendas, ( $\theta$ ) o ângulo entre os raios de luz e o eixo central e  $\lambda$  é o comprimento de onda da luz.

Young tomou o princípio de interferência como sua principal defesa da teoria ondulatória da luz. Além disso, nesse trabalho, ele traz uma discussão inicial em torno do fenômeno de difração. Na tentativa de estabelecer a teoria ondulatória da luz, o fenômeno de difração era de particular interesse.

### 3.3 De onde surge a teoria da Dualidade Onda-Partícula?

No início do século XIX, o físico francês Augustin Fresnel<sup>10</sup> realizou experimentos que foram fundamentais para estabelecer a teoria ondulatória da luz em bases matemáticas sólidas. Através de suas pesquisas sobre interferência e difração, Fresnel demonstrou que a luz se comporta como uma onda e que sua propagação em linha reta se deve ao comprimento de onda da luz visível. Ele desenvolveu uma explicação teórica baseada na teoria das ondas, empregando o princípio de Huygens e fazendo uso do fenômeno de interferência de Young para compreender não apenas a propagação retilínea da luz, mas também as variações em seu comportamento. Suas formulações permitiram explicar a difração da luz ao passar por fendas estreitas e obstáculos, representando um marco importante na compreensão da natureza ondulatória da luz. (Hendry, 1980).

Nesse sentido, James Maxwell, nas suas pesquisas fala sobre a natureza ondulatória da luz e sua relação com o eletromagnetismo através de uma combinação

---

<sup>10</sup>Augustin Fresnel Físico francês, (1788-1827). Distinguiu-se sobretudo pelos seus trabalhos no campo da ótica. Pela sua publicação sobre difração, foi-lhe atribuído, em 1819, o Prémio da Academia das Ciências.

de teorização matemática e experimentação. Ele unificou os conceitos de eletricidade, magnetismo e óptica em uma teoria coerente, desenvolvendo as equações de Maxwell que descrevem as interações entre campos elétricos e magnéticos. Suas pesquisas foram baseadas em contribuições anteriores de outros cientistas que proporcionaram uma compreensão fundamental das ondas eletromagnéticas. Demonstrando assim, que a luz era uma forma de onda eletromagnética. Suas realizações estabeleceram as bases para a teoria eletromagnética e tiveram um impacto duradouro na Física e na tecnologia modernas. (Martins; Rosa, 2004).

Essa unificação de Maxwell abriu caminho para a compreensão de que a luz, de fato, é uma onda eletromagnética. Além disso, as equações previram a existência de ondas eletromagnéticas que se propagam à velocidade da luz, uma ideia fundamental que influenciou diretamente a teoria da relatividade de Einstein. Essas equações também tiveram um impacto prático significativo, possibilitando o desenvolvimento de tecnologias de comunicação sem fio, rádio, televisão e muitos outros dispositivos eletrônicos que moldaram o mundo moderno. Portanto, a teoria de Maxwell representam um dos pilares da Física e da tecnologia do século XIX e continuam a ser de importância fundamental na ciência e na vida cotidiana.

Aproximadamente, em 1900, Max Planck<sup>11</sup> introduziu na Ciência o conceito de quantum<sup>12</sup>, contrapondo o conceito de continuidade que a Ciência tinha da natureza. A energia emitida por um corpo não é contínua, mas definida por quantidades mínimas e finitas, estabelecendo como central nesse debate a descontinuidade. Os estudos de Planck revelaram que a energia não era absorvida ou emitida de forma contínua, mas em múltiplos de uma quantidade mínima, o quantum.

No entanto, seu desenvolvimento não se limitou a esse evento singular, mas sim a um processo gradual ao longo das primeiras décadas do século XX, que envolveu a contribuição de diversos cientistas notáveis. A mecânica quântica emergiu

---

<sup>11</sup>Max Planck, (1858-1947). Físico alemão e ganhador do prêmio Nobel de Física de 1918 em reconhecimento aos seus serviços prestados para o avanço da Física e à sua descoberta do “quanta” de energia. Embora muitos historiadores da ciência afirmem que a apresentação do artigo denominado “Sobre a teoria da lei de distribuição de energia do espectro normal”

<sup>12</sup>Quantum significa, em latim, quantidade. No plural, quanta.

como uma teoria completa, abrangendo conceitos fundamentais como a Dualidade Onda-Partícula, o princípio da incerteza de Heisenberg e a equação de Schrödinger. Ela se tornou necessária devido à incapacidade da Física Clássica em explicar satisfatoriamente fenômenos observados em escalas subatômicas, levando a uma revolução na compreensão do universo e redefinindo a visão da realidade. (Zanetic; Mozena, 2019).

Planck teve que assumir que a energia da radiação aprisionada na cavidade do corpo negro, para uma dada frequência, não se distribuía continuamente, como era previsto pela Física Clássica, mas de maneira discreta, com valores proporcionais à essa mesma frequência.

Da mesma maneira, Planck influenciado pela teoria cinética dos gases de Ludwig Boltzmann<sup>13</sup>, introduziu a ideia de quantização de energia em sua teoria sobre o corpo negro. Ele postulou que a energia não era contínua, mas sim discreta, sendo distribuída em níveis discretos. Ele imaginou que as paredes da cavidade do corpo negro abrigavam osciladores harmônicos simples, que se assemelhavam a cargas elétricas oscilantes. Esses osciladores só poderiam ter certos valores discretos de energia, e cada energia, representada por  $\varepsilon$ , era obtida como múltiplos de um valor mínimo de energia.

Essa inovação teórica foi crucial para explicar o espectro de radiação do corpo negro e representou um marco fundamental no desenvolvimento da Física Quântica. Esse valor da energia foi expresso como:

$$\varepsilon = nh\nu, \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots$$

no qual  $n$  é o número quântico,  $\nu$  é a frequência do oscilador e  $h$  uma constante que fora obtida mais como um artifício matemático do que uma realidade Física, pois de algum modo essa constante fornecia resultados corretos para a energia de radiação. (Eisberg; Resnick, 1994).

Nesse sentido, a ideia de quantização introduziu a noção de que a energia só podia ser transformada em unidades discretas, chamadas "quanta". Essa ideia

---

<sup>13</sup>Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906). Físico austríaco conhecido pelo seu trabalho no campo da termodinâmica estatística.

quebrou com a visão clássica de que a energia era contínua. Posteriormente, Einstein aplicou esse conceito à luz, sugerindo que a luz também é composta de partículas discretas chamadas "fótons". Esse trabalho de Einstein ajudou a estabelecer a ideia de Dualidade Onda-Partícula. Mas, antes de Einstein, tem os primeiros físicos que deram outra explicação ao fenômeno do Efeito Fotoelétrico como veremos seguidamente.

### 3.4 Origem do Efeito Fotoelétrico

Heinrich Rudolf Hertz<sup>14</sup> foi um físico alemão que desempenhou um papel crucial na pesquisa experimental relacionada às ondas eletromagnéticas e na verificação experimental da teoria eletromagnética de Maxwell. Sua pesquisa mais famosa envolveu a geração e detecção de ondas eletromagnéticas, especialmente ondas de rádio, o que acabou por levar ao desenvolvimento das comunicações sem fio. Em 1888, Hertz projetou um experimento para demonstrar a existência das ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell. (Klassen, 2009).

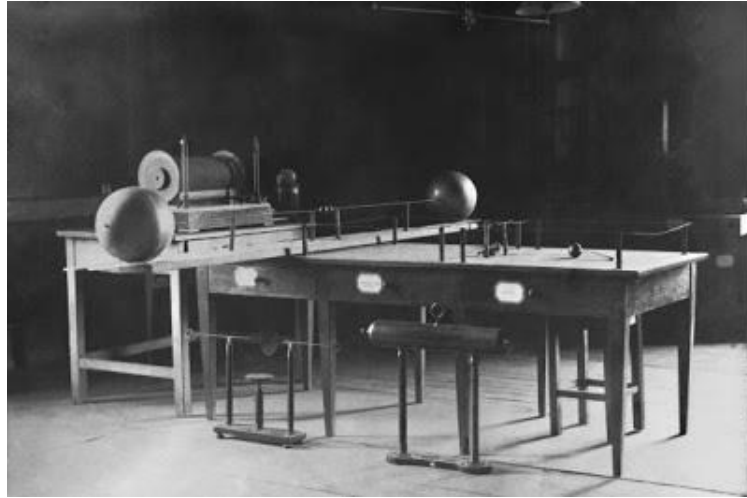
Ele construiu um aparato que consistia em um emissor de faíscas elétricas, uma antena e um detector de faíscas a uma distância. Quando uma faísca era produzida no emissor, Hertz observou que o detector de faíscas a uma distância igual reagia, indicando a propagação das ondas eletromagnéticas pelo espaço.

Em agosto de 1882, começou estudar fenômenos luminosos em gases rarefeitos. Para tanto, elaborou um aparato em que se observava a descarga elétrica entre dois fios-eletrodos; um deles, contido no interior de um tubo de vidro, que continha um pequeno orifício, e outro fora do tubo, mas próximo a essa abertura. Por meio desse aparato, Hertz analisou a "explosão" quente que ocorria em torno desse orifício. Na figura 6 mostra-se uma fotografia do experimento realizado por Hertz em 1887, para detectar a existência das ondas eletromagnéticas, resultando os primeiros indícios que mais tarde ajudaram no descobrimento do Efeito Fotoelétrico.

---

<sup>14</sup>Heinrich Rudolf Hertz, (1857-1894) Físico alemão que descobriu a propagação das ondas eletromagnéticas no espaço e estudou sua natureza e propriedades, lançando as bases que levariam Marconi a uma invenção destinada a revolucionar as comunicações.

**Figura 6 – Imagem demonstrando o Experimento de Hertz**



Fonte: <https://espaciodecesar.com/2015/10/07/experimento-de-hertz-ondas-electromagneticas-radiofrecuencia/> (2017)

Hertz, ao produzir uma corrente alternada de alta tensão em um terminal emissor, gerou ondas eletromagnéticas que se propagaram pelo espaço. Estas ondas induziram corrente elétrica em outro terminal receptor, gerando faísca. Percebeu-se, então, que estas faíscas eram elétrons que saltavam do metal. Nesse sentido, a ejeção de elétrons de uma superfície metálica exposta a uma radiação eletromagnética. Esse fenômeno, confirmado experimentalmente por Hertz em 1887 e popularizado para a comunidade científica, é conhecido como Efeito Hertz em sua homenagem.

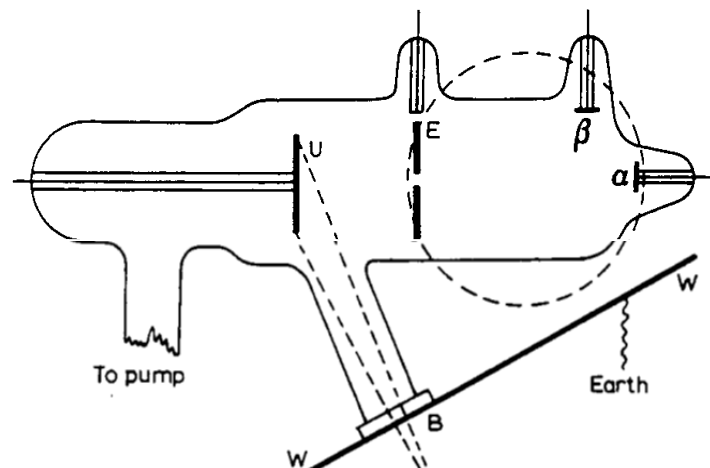
Consequentemente, em 1902, Philipp Lenard<sup>15</sup> físico alemão, fez contribuições significativas no campo dos raios catódicos no final do século XIX. Seu trabalho se concentrou em estudar os raios catódicos, que são feixes de elétrons emitidos a partir do cátodo de um tubo de vácuo. Lenard realizou extensos experimentos para pesquisar as propriedades desses raios, incluindo sua capacidade de penetrar em materiais e sua interação com campos elétricos e magnéticos. Seu trabalho experimental foi fundamental para entender os princípios básicos da eletricidade e da Física de partículas (Lenard, 1902).

Lenard no seu artigo publicado em 1906 intitulado “*Über die lichtelektrische Wirkung*” descreve detalhadamente o aparato experimental sobre o Efeito Fotoelétrico

<sup>15</sup>Philipp Lenard. Físico alemão (1862-1947), galardoado com o prêmio Nobel da Física em 1905, pela sua pesquisa em raios catódicos e pela descoberta de muitas das suas propriedades.

explicado na figura 7, onde se mostra o esquema do experimento feito por Lenard. Ele era formado por um tubo de vidro, mantido a uma baixa pressão, produzido pelo tubo lateral de vácuo.

Figura 7 – Esquema de aparato experimental por Lenard para o estudo do Efeito Fotoelétrico.



Fonte: Philipp Lenard (1906, p.122)

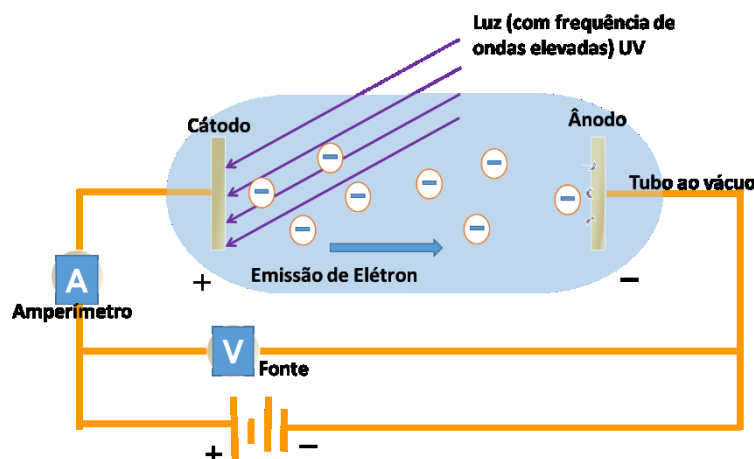
Esse aparato continha um eletrodo de alumínio (U) como se indica na figura, iluminado por radiação ultravioleta proveniente de uma descarga em arco originada em (L). A radiação emitida pela descarga em arco atravessava uma janela de quartzo (B) onde atingia o eletrodo (U). Um anteparo (E) fazia o papel de ânodo. Dois pequenos eletrodos metálicos ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ), eram conectados a eletrômetros que mediam correntes de pequena intensidade. Quando o eletrodo (U) era iluminado pela radiação ultravioleta e polarizado negativamente, ocorreria a ejeção de elétrons da superfície do eletrodo, sendo esses acelerados em direção ao ânodo (E).

No entanto, ele notou que a emissão de elétrons não estava diretamente relacionada à intensidade da luz, mas sim à frequência da luz incidente. Esse fenômeno foi crucial porque indicava que a energia da luz estava quantizada, ou seja, apenas ocorria a emissão de elétrons se a frequência da luz fosse igual ou superior a um valor mínimo, chamado de "frequência de corte". Com base nisso, argumentou que a energia luminosa que incide sobre a superfície metálica deveria provocar a liberação apenas dos elétrons selecionados, não adicionando energia ao mesmo (Lenard, 1902).

Nesse sentido, Reisin e Ferrara (2004) destacam que, no Efeito Fotoelétrico, agrupa-se um conjunto de fenômenos que surgem durante a interação da radiação luminosa com uma entidade material onde se tem a emissão de elétrons (Efeito Fotoelétrico externo) ou, na alteração da condutividade elétrica em uma substância ou aparecimento de uma força eletromotriz induzida (Efeito Fotoelétrico interno).

De igual maneira, o efeito fotoelétrico pode ser explicado no seguinte esquema representado na figura 8, quando incide sobre uma placa metálica (cátodo) com certas características. O resultado dessa ação é que uma radiação eletromagnética na faixa da luz ultravioleta é liberada elétrons do metal podendo chegar ao ânodo, isso devido à diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo, provocando a circulação de corrente elétrica num circuito. Esse movimento dos elétrons produz uma corrente elétrica extremamente pequena, da ordem de  $10^{-12}$  A.

**Figura 8 - Esquema do Efeito Fotoelétrico simulado do experimento de Lenard**



**Fonte: Elaboração própria, adaptado de Reisin y Ferrara (2004 p.2)**

A prática experimental permitiu estabelecer as seguintes regularidades para o Efeito Fotoelétrico:

- Para cada metal existe um limite ou limiar de frequência mínima de luz  $\nu_0$  abaixo do qual o efeito não é observado.
- Mesmo com uma diferença de potencial oposta (o ânodo com carga negativa) pode-se observar o aparecimento de foto-corrente,

evidenciando que os elétrons são extraídos com um valor energético, capaz de vencer o campo elétrico oposto.

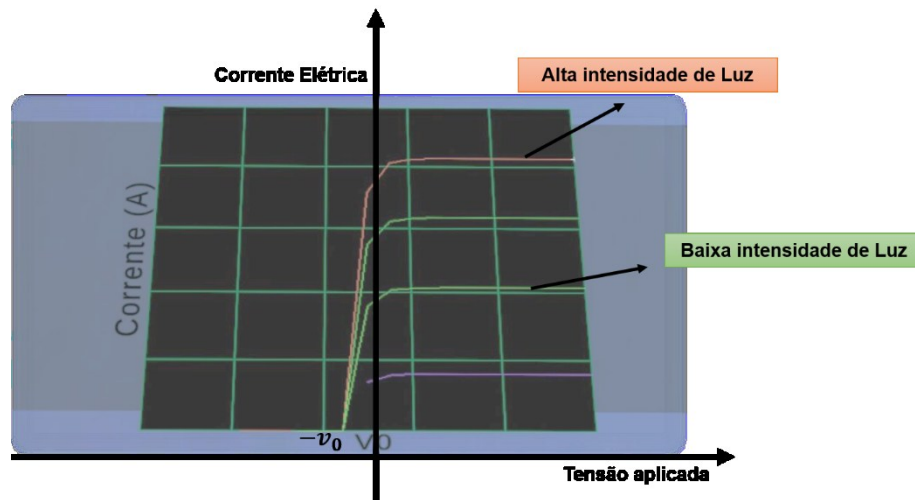
➤ Esse valor do potencial tem um máximo de energia cinética  $E_{c(máx)}$ , pois quando o potencial retardo adquire um valor  $U_0$ , não é possível apreciar o efeito. O valor do potencial de retardo e, portanto,  $E_{c(máx)}$  não depende da intensidade da radiação incidente, mas sim da frequência da luz incidente sobre o metal.

➤ A foto-corrente pode aumentar seu valor se for aplicada uma diferença de potencial aceleradora entre o cátodo e o ânodo (este último carregado positivamente) porém, o valor da corrente não aumenta indefinidamente, mas atinge um valor de saturação, permanecendo constante com o aumento do potencial.

➤ Quando os elétrons são arrancados, podemos aplicar uma diferença de potencial que gera um campo elétrico e conseqüentemente os elétrons ficam sujeitos a ação de uma força elétrica contrária ao seu deslocamento. Era de se esperar que, quanto maior a radiação da luz incidente, maior seria a energia cinética com esses elétrons ejetados, conseqüentemente, uma diferença de potencial maior teria que ser aplicada para que esses elétrons freassem e retornassem a placa de origem e isso não foi verificado.

Vamos observar a seguinte figura 9, onde se representa o comportamento da corrente elétrica quando é aumentada a intensidade luminosa, sendo que o potencial de *stop* ficava inalterado.

Figura 9 - Gráfico da corrente elétrica em função do potencial no efeito fotoelétrico



Fonte: Autoria própria (2025)

Pode ser observado no gráfico feito em tempo real durante a simulação de RVI que quanto maior é a intensidade da luz incidente no metal, maior é a corrente, o que está de acordo com a mecânica clássica, mas todas as frequências convergem no mesmo potencial de corte ( $V_0$ ), o que não é explicado pela mecânica clássica. Consequentemente, continuando com essa busca por entender o fenômeno que conseguiu demonstrar as ideias no Efeito Fotoelétrico, surgem novas ideias que foram explicadas por Albert Einstein<sup>16</sup> em um dos seus artigos em 1905.

### 3.5 Contribuição de Einstein para explicar o Efeito Fotoelétrico.

A descoberta da emissão fotoelétrica e suas leis foram um dos principais incentivos para os pesquisadores da época, especialmente Albert Einstein, a reconsiderar o modelo corpuscular proposto por Newton para descrever a luz, assim como o fenômeno do Efeito Fotoelétrico, experimentalmente proposto por Lenard, e a radiação estudada por Planck.

Essa reavaliação levou à compreensão de que a ideia de fóton difere fundamentalmente do tratamento corpuscular de Newton, representando entendimentos distintos sobre a natureza da luz. Sua constituição fez uma revolução

<sup>16</sup>Albert Einstein (1879 – 1955), foi um físico e matemático alemão. Entrou para o rol dos maiores gênios da humanidade ao desenvolver a Teoria da Relatividade. Ganhou o prêmio Nobel em 1921 por suas contribuições na Física teoria com o efeito fotoelétrico.

na explicação do Efeito Fotoelétrico em 1905, por meio de seu artigo original em alemão intitulado *“Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt”* traduzido como “Sobre um ponto de vista heurístico relativo à produção e transformação da luz (EINSTEIN, 1905).

Sua contribuição fundamental foi a introdução da ideia de que a luz consiste em partículas discretas de energia chamadas "fótons", cada uma carregando uma energia diretamente proporcional à frequência da luz. Também assumiu que se a luz fosse emitida na forma de quanta desses valores de energia devido à simetria da natureza, ela deveria ser absorvida dessa forma. Com base nessa suposição, ele propôs a seguinte equação para explicar esse efeito;

$$E_{c(máx)} = hf - \phi$$

Nessa equação,  $hf$  representa a energia do fóton incidente, sendo  $h$  a constante de Planck e  $f$  a frequência da Luz. A função trabalho  $\phi$  é a energia mínima necessária para remover um elétron da superfície do metal. Assim, quando  $hf$  é maior que  $\phi$ , ocorre a emissão de elétrons e a energia que “sobra” após vencer a função trabalho aparece como energia cinética máxima  $E_{c(máx)}$  do fotoelétron.

Ainda de acordo com Taylor, et al (2004), Albert Einstein em 1905, formulou alguns postulados simples acerca do efeito fotoelétrico, a saber:

- 1) A luz é formada por pacotes de energia (fótons), onde a energia de cada fóton é proporcional a frequência.
- 2) A emissão de elétrons da placa metálica se dá na forma de que um “fóton” pode arrancar um elétron.
- 3) Na “colisão” de um fóton e um elétron, o fóton entrega toda sua energia ao elétron ou não entrega nada.

Com esses postulados, segundo Taylor, et al (2004), todos os problemas do efeito fotoelétrico foram resolvidos e ainda, como os resultados experimentais levavam ao mesmo valor para a constante de Planck, houve uma convergência de resultados o que deixa essa “nova” Física mais forte.

Esta foi uma previsão de Einstein feita cerca de dez anos antes de experimento de Milikan, pois na época não se tinha evidência que a constante de

Planck teria aplicação fora do contexto da radiação do corpo negro, o que revolucionou as teorias dentro da Física Quântica, ademais que na época ninguém suspeitava que a frequência da luz estava relacionada à energia cinética dos elétrons.

No caso mínimo, tem-se que a energia cinética tende a zero, então pode-se encontrar a frequência de corte ( $f_0$ ) do material mediante a equação;

$$f_0 = \frac{\phi}{h}$$

Se a energia do fóton  $hf$  é menor que  $\phi$  não acontece o fenômeno. Assim, a frequência limite é dada pela relação  $hv_0 = \phi$

Nesse sentido, a energia do elétron ejetado equivale a  $E_{c(máx)} = hf - hv_0$  considerando que depende da frequência. O processo de absorção de um fóton pelo elétron pode ser considerado como um fato que acontece instantaneamente.

Das ideias anteriores pode-se concluir que a luz tem um duplo comportamento: há fenômenos em que ela se comporta como onda e outros como partícula. Isto não deve ser visto como contraditório, mas sim com uma propriedade da natureza. Em alguns fenômenos (interferência, difração, polarização) sendo manifestada como onda e em outros, como por exemplo o Efeito Fotoelétrico, comporta-se como partícula.

Uma verificação experimental também importante da explicação dada por Einstein foi realizada uma década depois pelo físico Robert Andrews Millikan<sup>17</sup>, que confirmou toda a teoria de Einstein, incluindo a proporcionalidade direta entre frequência e energia do fóton. A luz eletromagnética se comporta como onda e também como partícula, dependendo do tipo de experimento que é realizado. No caso do Efeito Fotoelétrico, ficou evidente o comportamento corpuscular da luz.

Assim, questões extremamente importantes foram estudadas por Millikan em uma série de medidas elegantes e muito cuidadosas, nas quais ele encontrou, para sua surpresa, uma completa concordância com a equação de Einstein quando determinou a constante de Planck com uma incerteza percentual de 0,5%.

---

<sup>17</sup>Robert Andrews Millikan (1868 - 1953), físico americano homenageado com o Prêmio Nobel de Física em 1923 por seu estudo da carga eletrônica elementar e da energia fotoelétrica.

De fato, o Efeito Fotoelétrico foi um fenômeno crucial que ajudou a validar e aprofundar o conceito de quanta de energia introduzido por Planck, onde a energia é quantizada em unidades discretas." Essa observação de que a energia da luz incidente estava relacionada à frequência da luz e não à sua intensidade, como explicado por Planck, forneceu evidências significativas para a natureza quantizada da energia eletromagnética.

### 3.6 Ondas de Matéria De Broglie

Um avanço importante que permitiu a integração de diversas teorias, ademais de impulsionar o desenvolvimento da Física Moderna, foi feita pelo físico francês Louis De Broglie<sup>18</sup> em sua tese de doutorado de 1924. Seu trabalho comprovou as propriedades ondulatórias dos elétrons, baseando-se na extrema natureza dual da luz evidenciada nos experimentos de radiação do corpo negro e do Efeito Fotoelétrico.

Assim, considerando esse aspecto desconcertante dual da luz, estritamente vinculado à existência mesma dos momentos, sugeriu a pergunta: A matéria pode ter propriedades tão ondulatórias quanto corpusculares? (Zeilinger, et al, 2001). Este questionamento foi baseado na explicação do Efeito Fotoelétrico que pouco antes havia sido dado por Einstein sugerindo a naturalidade quântica da luz.

Segundo Kozhevnikov (2021), para Einstein, a energia transportada pelas ondas luminosas foi quantificada, conhecido como uma distribuição em pequenos pacotes de energia de luz que mais tarde seriam chamados de fótons, cuja energia dependia da frequência da luz através da relação: conhecida como uma distribuição em pequenos pacotes de energia de luz que mais tarde seriam chamados de fótons, cuja energia dependia da frequência da luz através da relação:

$$E = h\nu$$

sendo  $\nu$  a frequência da onda luminosa e  $h$  constante de Planck. A partir desta relação Einstein propôs que, em certos processos, as ondas eletromagnéticas que

---

<sup>18</sup>Louis De Broglie (1892-1987) físico Francês. Seus estudos mais importantes foram sobre as propriedades ondulatórias das partículas da matéria.

formam a luz se comportam como corpúsculos tendo um comprimento de onda expressada da seguinte forma:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

Isso implicou que partículas com menor momento ( $p$ ) têm comprimentos de onda maiores, enquanto partículas mais energéticas têm comprimentos de onda menores. Mediante esta relação de Einstein e Planck, De Broglie afirma que toda a matéria apresenta características tanto ondulatórias quanto corpusculares, compatíveis com um ou outro modo, dependendo do experimento específico.

As Ondas de Matéria desempenharam um papel central na mecânica quântica, explicando o comportamento das partículas subatômicas em níveis microscópicos, e foram confirmadas experimentalmente, lançando as bases para nossa compreensão moderna da natureza da matéria e da radiação.

De acordo com Kozhevnikov (2021), a dualidade da partícula vai além da simples afirmação de que os fenômenos de radiação exibem nas suas propriedades, as quais se assemelham aos modelos clássicos de ondas e partículas. Na verdade, a dualidade de partícula demonstra como diferentes tipos de objetos desempenham papéis essenciais na descrição de fenômenos duais. Essa dualidade é uma das questões fundamentais da Física Quântica, desafiando a compreensão tradicional da natureza da matéria e da luz.

Expressar a Dualidade Onda-Partícula de maneira formal ou matemática, é fazer um tratamento simétrico de ambos os conceitos, como Heisenberg em suas palestras de Chicago (1930):

Há dois modelos de fenômenos cúpicos e ambos conduzem a resultados equivalentes. Se você puder começar a partir do conceito clássico de partícula, ou do conceito clássico de onda, e chegar essencialmente à mesma teoria quântica quantificando um ou outro (Heisenberg, 1930).

Nessa ordem de ideias, “a Dualidade Onda-Partícula não se aplica apenas à luz” (Heisenberg, 1930). Essa foi uma constatação de Louis de Broglie em sua tese de doutorado. Ele afirmou que partículas e até objetos maiores deveriam possuir um

comprimento de onda associado. Quanto maior o objeto, menor seria o comprimento de onda associado ao corpo.

Finalmente, o estudo evolutivo e epistemológico dessas teorias, é uma demonstração impressionante de como a Física Quântica desafia a intuição e estende seus princípios fundamentais a todas as escalas da realidade. A ideia de que partículas e até objetos macroscópicos possuem características ondulatórias, embora não se manifeste facilmente em nosso mundo cotidiano, destaca a profundidade da revolução quântica. Isso sugere que, sob a superfície aparentemente sólida da matéria, existe uma realidade sutil e fluida que transcende nossa compreensão clássica.

Essa dualidade também ressalta a importância de manter uma mente aberta para as maravilhas da Física e da natureza, mesmo quando essas maravilhas desafiam nossa intuição e senso comum. A Dualidade Onda-Partícula é um lembrete de que o mundo quântico é repleto de surpresas e mistérios, incentivando os cientistas e pesquisadores da área a explorar e em compreender as complexidades da Física além do que nossos sentidos e experiências diretas podem revelar. Hoje as teorias quânticas têm contribuído com grandes avanços nas tecnologias que se utilizam no dia a dia. No fim, “as descobertas de ontem, são ferramentas de hoje para encontrar o que ainda não tem resposta”.

#### **4. REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA COMO MEDIAÇÃO PEDAGÓGICO-TECNOLÓGICA EM PRESENÇA DE CONTEÚDOS ABSTRATOS DE FÍSICA MODERNA**

A compreensão de conceitos abstratos, como os da Física Moderna, que abrangem fenômenos que desafiam a intuição e a experiência cotidiana, representa um dos maiores desafios no ensino de ciências. Tradicionalmente, a dificuldade de visualizar e interagir com esses fenômenos complexos tem limitado a profundidade da aprendizagem e ao engajamento dos estudantes. Nesse cenário, a educação contemporânea é instigada a buscar novas estratégias didáticas alinhadas às inovações tecnológicas. A maior parte desse desafio reside em identificar e integrar tecnologias educacionais que aprimorem o modo com que os professores apreendem e aprendem a ensinar um determinado conhecimento e, conseqüentemente, o modo no qual os estudantes apreendem significativa e efetivamente.

Este capítulo explora o potencial da RVI como uma dessas tecnologias, buscando preencher uma lacuna notável na literatura, onde a aplicação das simulações imersivas na Física Moderna ainda carece de fundamentação teórico-pedagógica e da didática tecnológica, bem como estudos aprofundados capazes de inovar as práticas de ensino.

A utilização das tecnologias na educação, embora ainda limitada, tem se tornado cada vez mais presentes, impulsionada pela constante evolução de métodos e ferramentas disponíveis atualmente. Segundo Melo Júnior et al. (2025), as tecnologias emergentes no sistema educacional configuram uma tendência crescente, notadamente pelas inovações que promovem e pela sua capacidade de transformar os ambientes de aprendizagem.

Nos últimos anos, recursos como plataformas adaptativas; ambientes de aprendizagem baseados em jogos (gamificação); Realidade Aumentada (RA); Realidade Virtual (RV); Realidade Virtual Imersiva (RVI); assistentes virtuais com Inteligência Artificial (IA); sistemas de análise de desempenho estudantil e laboratórios virtuais (simulações) têm sido incorporados ao cotidiano escolar. Tais ferramentas não apenas modernizam o ensino, mas, também, possibilitam maior personalização e

acesso ao conhecimento, promovendo a participação ativa dos estudantes no processo educativo, facilitando o trabalho pedagógico-didático.

Nesse sentido, observando que para o ensino de Física, muitas dessas tecnologias ainda enfrentam limitações quando se trata de estabelecer conexões significativas entre os conceitos físicos e o cotidiano dos estudantes. Por exemplo, RVI embora amplamente utilizada em pesquisas científicas e simulações, ainda é pouco utilizada no contexto educacional, especialmente no que diz respeito ao seu potencial didático. Uma das principais barreiras para sua ampla adoção está na complexidade envolvida na criação de conteúdos pedagógicos específicos, que demandam tempo, conhecimento técnico e formação técnica adequada por parte das instituições de ensino.

Entretanto, quando bem aplicada, a RVI pode tornar-se uma ferramenta de mediação didática poderosa para facilitar a compreensão de fenômenos físicos abstratos, como os presentes na Física Moderna. Por exemplo, ao envolver conceitos que tratam de partículas subatômicas e realidades que escapam à experiência sensorial direta, sendo um campo do conhecimento que ainda apresenta muitas barreiras cognitivas para os estudantes e professores. Nesse sentido, simulações imersivas podem contribuir significativamente para tornar visível o invisível, ampliando a compreensão e o engajamento de conteúdo de difícil assimilação (JIUGEN et al., 2020).

Assim, olhando para esse fato, é possível trazer à teoria de Lev Vygotsky focando na importância da mediação pedagógica como uma metodologia no componente central do professor. De forma que, a RVI vai se consolidando como uma tecnologia promissora para o ensino de ciências, especialmente por permitir a imersão sensorial e a interação ativa dos estudantes com ambientes simulados.

Sendo assim, Matovu et al. (2023) destacam que, ao promover a colaboração em espaços virtuais permitindo o acompanhamento pedagógico mediado, a RVI pode ser entendida como uma ferramenta tecnológica alinhada com a visão de instrumento social, permitindo se aproximar na ZDP promovendo engajamento, pertencimento e aprendizagem significativa em contextos de ensino de ciências. No entanto, é importante considerar que, assim como qualquer outra tecnologia, o uso da RVI deve

ser planejado e integrado em um contexto educacional, permitindo considerar as vantagens e as limitações que possa trazer.

Dessa maneira, é fundamental que exista um propósito pedagógico que sustente o uso da tecnologia. Para tal finalidade de discussão, apresenta-se a interrogante: é possível considerar a RVI como instrumento cultural para mediação Pedagógico-Tecnológica nos conceitos abstratos da Física Moderna? Para responder este questionamento, torna-se necessário uma análise de pesquisas atuais que utilizam a tecnologia RVI nos processos de ensino-aprendizagem da Física Moderna, e das teorias de aprendizagem que envolvem a utilização de forma mais pedagógica.

Nesse sentido, ao visualizar as práticas experimentais das teorias, é evidente que a utilização de mediação simbólica através das representações matemáticas com as equações, gráficos e modelos, os quais são ferramentas cruciais que facilitam a comunicação e representação desses conceitos complexos durante os processos de aprendizagem. Isso, considerando-se também no contexto do uso da tecnologia no ensino, onde essa abordagem pode ser ampliada e otimizada para aprimorar a compreensão de fenômenos físicos.

No decorrer do capítulo, apresentam-se as partes que compõem este estudo para chegar numa análise que permita dar uma resposta aos questionamentos levantados. Além disso, pretende-se contribuir para futuras pesquisas, com a compreensão de possíveis visões teórico-didáticas para o ensino da Física e outras ciências.

#### **4.1 Realidade Virtual Imersiva e o Ensino de Física Moderna**

A RVI, apresenta características importantes como, por exemplo, trabalhar com informações multissensoriais (imagens dinâmicas, sons espaciais, reação de tato e força, entre outros) produzidas e manipuladas em tempo real. Também prioriza a interação em tempo real, em detrimento da qualidade das informações, se for necessário. Ela exige uma alta capacidade de processamento gráfico, sonoro e háptico em tempo real.

As simulações virtuais podem ser classificadas em dois grupos, de acordo com suas características: as estáticas e as dinâmicas. Nas simulações estáticas, o aluno tem pouco ou nenhum controle sobre os parâmetros da simulação, enquanto, nas dinâmicas, os parâmetros podem ser modificados e, portanto, o aluno pode verificar as implicações de cada variável no resultado do fenômeno em estudo. A RVI tem-se consolidado como uma ferramenta pedagógica poderosa na educação contemporânea, especialmente no ensino de ciências. Segundo Afonso et al, (2020), a RVI oferece um ambiente tridimensional altamente envolvente, capaz de transportar o estudante para contextos abstratos e complexos que, muitas vezes, não são acessíveis em sala de aula tradicional.

Consequentemente, o estudo da Física como ciência experimental torna possível verificar e quantificar um fenômeno por meio da experimentação. Além disso, a característica fundamental é a capacidade de reproduzir o experimento tanto o aluno precisar. Sendo assim, o aproveitamento das vantagens oferecidas pela realidade virtual se torna uma oportunidade valiosa para aprimorar o ensino. Coelho (2002, p.39) apresenta algumas vantagens com relação ao uso de simulações virtuais no ensino de Física:

[...] os simuladores virtuais são os recursos tecnológicos mais utilizados no Ensino de Física, pela óbvia vantagem que tem como ponte entre o estudo do fenômeno da maneira tradicional (quadro e giz) e os experimentos de laboratório, pois permitem que os resultados sejam vistos com clareza, repetidas vezes e com um grande número de variáveis envolvidas.

Nesse sentido, é importante ressaltar a crescente importância dos simuladores virtuais no ensino de Física, atuando como uma valiosa conexão e com um poder de criatividade entre métodos de ensino, sendo eles mais flexíveis. A grande vantagem desses recursos tecnológicos reside na capacidade de proporcionar uma compreensão mais didática dos fenômenos físicos, permitindo que os resultados sejam observados, pela simulação feita de forma repetitiva. Além disso, a flexibilidade dos simuladores virtuais possibilita a manipulação de várias variáveis, permitindo aos alunos explorarem diferentes cenários e compreenderem como fatores diversos

afetam os resultados. Assim, os simuladores virtuais podem contribuir no aprimoramento do ensino tornando o aprendizado mais envolvente e acessível.

Dentro dos diversos fenômenos da Física, em particular a mecânica quântica, pode-se citar alguns experimentos importantes, que formaram a base no desenvolvimento inicial dessa nova Física: a) Experimento da dupla fenda de Thomas Young, em 1801, que demonstra o fenômeno da interferência através da difração da luz; b) Interferômetro de Mach-Zehnder, em 1892, que consiste em um arranjo experimental análogo ao experimento de duas fendas que permite o estudo do comportamento dual da luz ; c) Efeito fotoelétrico de Philipp Lenard, em 1903, que mostra a existência de corrente elétrica em um circuito, resultante da ejeção de elétrons de uma superfície metálica provocada pela incidência de radiação ultravioleta.

Assim, a Física Moderna torna-se essencial para uma compreensão científica do mundo atual, pois, apesar de ter sido desenvolvida no século passado, os fundamentos dessa Física permanecem obscuros para a maioria das pessoas, e, às vezes, até mesmo para os alunos de nível superior. Diante os processos de ensino, o Pietrocola e Brockinton (2003) afirmam que:

[...] A maioria das experiências de Física Moderna e Contemporânea não pode ser feita nos laboratórios, uma excelente forma de contornar este problema é através do uso de simulações computacionais que além de contribuir para esta atualização curricular também traz à luz uma discussão da atualização dos mecanismos que podem ser utilizados para o ensino de Física.

Observa-se a necessidade de começar adotar simulações computacionais no ensino de Física Moderna, reconhecendo as limitações dos laboratórios tradicionais com equipamentos que muitas vezes não tem para reproduzir experiências experimentais. Repetidamente, apontar que a maioria das experiências nesses campos não é viável em ambientes convencionais, destaca-se a importância de incorporar tecnologias educacionais para contornar esses desafios. A proposta ressalta que as simulações não apenas oferecem uma solução prática para a falta de

experimentação direta, mas também contribuem para a atualização curricular, garantindo que os alunos se familiarizem com os avanços mais recentes na Física.

Por exemplo, a teoria de “Dualidade Onda-Partícula” pode evocar na mente do estudante uma contradição lógica, capaz de dificultar o entendimento do fenômeno quântico, pois evoca a ideia de unir em uma única representação dois objetos clássicos distintos e dispares. A Física Clássica desenvolveu duas visões para o objeto físico elementar: a de uma partícula (ou corpúsculo); de dimensões ínfimas, rigorosamente localizada, e a de uma onda, perturbação que se estende pelo espaço.

Pouco depois, esses fenômenos levaram ao reconhecimento do que se chama hoje Dualidade Onda-Partícula da luz na Física Moderna, onde explica-se que a luz pode-se comportar como uma onda e como partícula, dependendo do contexto experimental. Essa dualidade é uma das pedras angulares da mecânica quântica e ilustra como a ciência evoluiu para abraçar complexidades na natureza da luz. Essas ideias e representações formam a base de toda a teoria clássica, envolvendo partículas ou ondas e suas interações. Assim, fazendo uma relação com as simulações, os estudantes podem visualizar e explorar as representações ou “símbolos” de maneira dinâmicas desse fenômeno complexo, superando a aparente contradição lógica quando se fala de dualidade.

Com essas ideias, a RVI oferece várias vantagens; em primeiro lugar, permite a criação de situações controladas e pensadas pelo professor; em segundo lugar, proporciona controle total sobre o experimento; em terceiro, oferece aos estudantes uma percepção próxima à experiência real do experimento; em quarto, elimina qualquer risco no uso de materiais associado à realização do experimento. Por último, em quinto lugar, reduz a necessidade de ter instrumentos de laboratório físicos, mas operando com recursos virtuais imersivos que tornam seu funcionamento possível (Trampuz, 2023).

Além disso, a utilização da RVI permite projetar/manipular teorias de difíceis assimilações, que, agora, são facilitadas pela aproximação da prática virtual. “É preciso produzir novos processos, ambientes e ferramentas de aprendizagem; expandir a descoberta além de qualquer coisa que este mundo já viu” (França; Silva, 2019, P.2).

Analogamente, fazer abordagem nas estruturas da RVI, poderia ser um bom referente para o ensino, pois argumenta que a aprendizagem é um processo ativo, no qual as pessoas constroem novos conhecimentos quando se envolvem na construção de temas de interesse, permitindo recriar ambientes virtuais do mundo, possibilitando a abstração e síntese de algumas variáveis, como tempo, espaço e dimensões, gerando experiências em primeira pessoa e envolvendo conhecimento de forma direta, original, única, sendo experiências e memórias que serão mais duradouras para os indivíduos. (Tori; Hounsell, 2018).

Segundo Rizal et al, (2025), a RVI permite que os estudantes interajam com fenômenos como dos campos eletromagnéticos, superposição quântica e interferência de partículas, por meio de experiências tridimensionais imersivas. Essas simulações oferecem uma vivência mais dinâmica dos fenômenos da Física Moderna, como por exemplo, o experimento de dupla fenda ou a visualização de campos magnéticos. Transformando conteúdos, antes acessíveis apenas por teorias, fórmulas e gráficos, sem experiências sensoriais interativas. Mostrando que o uso da RVI aumenta o engajamento, a motivação e criatividade diante os conhecimentos.

Desta maneira, é possível pensar que a tecnologia de RVI permite nos alunos uma visualização interativa de fenômenos físicos promovendo maior motivação e curiosidade para o aprendizado, reduzindo a carga cognitiva e aumentando significativamente a eficácia do aprendizado quando comparado com métodos tradicionais de ensino.

#### **4.2 Mediação didática e Realidade Virtual Imersiva**

A mediação, segundo Leonir, se expressa em duas dimensões interdependentes: a mediação cognitiva, que conecta o sujeito ao objeto de conhecimento, e a mediação pedagógico-didática, na qual o professor atua intencionalmente para criar condições que favoreçam essa conexão. Essa segunda dimensão não apenas orienta o percurso da aprendizagem, como também possibilita ao estudante acionar seus próprios processos mentais em direção ao desenvolvimento. Nesse contexto, o papel do educador é fundamental para ativar a ZDP, conceito de Vygotsky que descreve o espaço entre o que o aluno já domina e

aquilo que pode aprender com o auxílio de um mediador, seja ele o professor ou instrumentos culturais. (Lenoir, 2009).

Nesse sentido, a mediação educacional deve ser entendida a partir de uma perspectiva histórico-social e dialética, centrada na dinâmica das relações entre sujeitos de aprendizagem, objetos de conhecimento e o professor como interveniente. Segundo Lenoir, (2009) “a intervenção educativa só faz verdadeiramente sentido porque diz respeito especificamente à ação em si dos sujeitos aprendentes”, sendo inseparável da mediação, pois implica “uma interatividade prática e reguladora” entre os envolvidos no processo educativo.

Assim, a mediação Pedagógico-Tecnológica tem ganhado destaque como uma estratégia potente para transformar práticas de ensino. Segundo Vieira e Brazão, (2022) as tecnologias digitais, quando utilizadas de maneira planejada e crítica, funcionam como instrumentos de mediação entre o conhecimento científico e a aprendizagem do aluno, colocando-o em uma posição ativa de investigação e experimentação. Ao integrar os fundamentos da mediação Vygotskiana com as potencialidades das tecnologias emergentes, como a RVI, a educação passa a oferecer experiências formativas mais ricas, permitindo que os alunos desenvolvam habilidades cognitivas superiores.

Com essa perspectiva, a RVI atua como um instrumento de mediação tecnológica, permitindo que os estudantes avancem em sua ZDP ao explorarem conceitos complexos de forma prática e situada, algo que está perfeitamente alinhado à perspectiva histórico-cultural de Vygotsky sobre a importância dos instrumentos culturais no desenvolvimento humano (Oliveira, 2010). Por meio da manipulação direta de variáveis experimentais e da observação de seus efeitos em tempo real em um ambiente virtual, os alunos podem construir novos esquemas cognitivos, aprendendo de maneira mais significativa.

De tal modo que essas vivências favorecem a aprendizagem ativa, exploratória e colaborativa, elementos fundamentais para que o aluno ultrapasse seus níveis atuais de desenvolvimento em direção a novas conquistas cognitivas. Dessa maneira, segundo a organização didática do professor responsável a RVI atua como "andaime", apoiando o aluno na experimentação de hipóteses e na reflexão crítica sobre os fenômenos estudados.

Segundo Tarng e Pei (2023), a RVI pode ser compreendida como um mediador essencial no processo de aprendizagem da Física Moderna, especialmente para conteúdos abstratos como a Mecânica Quântica, funcionando como um instrumento de mediação cognitiva e sensorial, ao permitir que os estudantes visualizem, manipulem e interajam diretamente com conceitos que, de outra forma, seriam inacessíveis ou extremamente abstratos no ensino tradicional.

#### **4.3 Análise conceitual sob RVI como Mediação Pedagógico-Tecnológica na Física Moderna**

A RVI constitui-se num espaço tridimensional, simbólico e interativo que permite a mediação dos processos de ensino e aprendizagem não apenas por meio da atuação direta do professor, mas também por meio de recursos tecnológicos com intencionalidade fenomenológica pedagógica. Quando adequadamente planejada, a RVI pode ser incorporada ao sistema educativo atual como uma ferramenta mediadora que potencializa a aprendizagem ativa.

Nesse contexto, pensa-se na RVI como um ambiente de Mediação Pedagógico-Tecnológica, capaz de mostrar conceitos abstratos da Física Moderna, possibilitando ao aluno uma maneira mais dinâmica em termos de demonstração por meio de signos e imagens dentro da simulação em 3D, e que possa trabalhar com esses conhecimentos na sua zona ZDP como fala Vygotsky, trazendo os conhecimentos, seja pela teoria Física ou pela utilização de outras atividades de aprendizagem.

Por outro lado, é importante rever as potencialidades e as limitações enfrentadas na utilização da RVI. Entre os principais desafios, destacam-se os altos custos de dispositivos de hardware, como os óculos *Quest*, que ainda dificultam a aquisição em larga escala por instituições de ensino. Contudo, essa barreira não impede a criação de novas propostas, especialmente ao considerarmos a tendência de popularização e barateamento dessas tecnologias, bem como o desenvolvimento de plataformas de RVI mais acessíveis e de código aberto. Uma outra dificuldade reside na falta de preparação técnica dos educadores em programação computacional, que é fundamental para a criação de simulações em realidade virtual.

No entanto, a crescente integração da Inteligência Artificial (IA) no desenvolvimento de conteúdo pode mitigar essa lacuna, facilitando a modelagem 3D, a roteirização de simulações e até mesmo a geração de ambientes virtuais complexos, permitindo que professores com menor expertise em codificação possam criar ou adaptar ferramentas didáticas. Além disso, a formação continuada de professores e a criação de repositórios de conteúdos de RVI prontos para uso são estratégias cruciais para superar esses obstáculos e democratizar o acesso a essa tecnologia no ambiente educacional.

Assim, a RVI pode ser concebida como um instrumento de mediação simbólica, que, ao simular e representar fenômenos quânticos no ambiente virtual, o aluno consegue visualizar e compreender de forma dinâmica o que acontece no fenômeno. A abordagem dessa mediação, fundamentada na ZDP, compreende que, ao estudar conteúdos teóricos da Física Quântica, o aluno vai criando e desenvolvendo um certo nível cognitivo, que logo será usada para compreender como acontecem os processos reais e experimentais por meio da RVI juntamente com as abordagens didáticas proposta pelo professor.

Parte desde estudo, é de compreender a RVI como instrumento de mediação. Para isso, torna-se importante conhecer tanto a ferramenta como a intencionalidade pedagógica que terá como objetivo a facilitação e assimilação do aprendizado onde se teve experiência presente na imersão. Dessa forma, inicia-se com a mediação pedagógica voltada para os objetivos do professor com a finalidade de potencializar o aprendizado, depois inserindo a mediação tecnológica com a RVI.

Relaciona-se essa mediação Pedagógico-Tecnológica focalizando no conteúdo específico dentro da Física Moderna, para que finalmente se alcance o que poderia ser chamado de desenvolvimento cognitivo facilitado. Unificando possíveis pontes conceituais que tornam mais acessíveis e significativos os aspectos aparentemente abstratos e desafiadores dessa área da ciência. Desta maneira, é importante entender cada um desses processos dentro de um modelo didático que será a integração dessas componentes.

O modelo de Mediação Pedagógico-Tecnológica do Conhecimento Específico (MPTCE) representa uma abordagem integrada, onde cada componente; Mediação Pedagógica, Mediação Tecnológica, Conhecimento Específico e Desenvolvimento

Cognitivo Facilitado interagem dinamicamente para otimizar o processo de ensino-aprendizagem.

Não se trata de elementos isolados, mas de uma sinergia, considerando a intencionalidade do professor (Mediação Pedagógica) design e aplicação da RVI (Mediação Tecnológica), que por sua vez é adaptada às características do conteúdo (Conhecimento Específico), visando promover um avanço significativo na compreensão do aluno (Desenvolvimento Cognitivo Facilitado). A validação empírica deste modelo em futuras pesquisas será crucial para testar sua eficácia, por meio de estudos de caso em sala de aula, experimentos controlados e análises qualitativas da interação professor-aluno-tecnologia.

#### **4.4 Mediação pedagógica**

Tem-se diversas pesquisas, onde a mediação docente atua como eixo estruturante de aprendizagem digital. Sendo assim, o professor estrutura e organiza os caminhos formativos de aprendizagem, propõe desafios e estimula a aprendizagem ativa aos alunos. Segundo Caldeira, (2024), quando os professores se apropriam criticamente das tecnologias digitais, conseguem transformar a relação com os alunos, criando percursos mais atraentes, significativos e ampliando os diversos modos de aplicabilidade, participação ativa e produção do conhecimento.

Pensar na mediação pedagógica é refletir como o professor consegue, por meio de diversas ferramentas sociais, aproveitar ao máximo os conhecimentos prévios que os alunos apresentem, para que aliados a esses conhecimentos possa considerar alguma estratégia didática com uso de tecnologias que proporcionem aprendizagem e realmente consiga efetivá-la com sucesso.

Brito, et al, (2025) destacam que a mediação pedagógica, quando aliada às tecnologias digitais, desempenha um papel crucial na promoção de aprendizagens significativas. Nesse contexto, a aplicação pedagógica intermediada pelo professor, transcende a simples utilização de recursos tecnológicos, exigindo uma abordagem reflexiva que considere as necessidades dos alunos e as especificidades do conteúdo, promovendo, assim, uma educação mais dinâmica e contextualizada.

Entre as estratégias mais comuns estão a elaboração de projetos com apoio de ambientes virtuais, a produção de materiais autorais por parte dos professores como recursos que favorecem diferentes estilos de aprendizagem. Assim idealiza-se, na utilização da realidade virtual como uma tecnologia que pode ser trabalhada e pensada de maneira pedagógica para alcançar a produção de projetos para fazer essa transposição de conteúdo específico que é o caso da Física Moderna com conteúdo altamente abstratos e levar através da RVI o ensino mais atraente e significativo para o aluno.

Levando essas ideias em consideração, foi criada a simulação RVI sobre a Dualidade Onda-Partícula, pensando em um ambiente virtual que possa ser compreendido pelo professor e que ele consiga realizar aplicações dentro da sala de aula. O objetivo é mostrar os fundamentos teóricos de forma mais didática. Além de levar ao aluno para uma reflexão crítica sobre o fenômeno estudado.

#### **4.5 Mediação tecnológica**

Na educação atual, são diversas as ferramentas tecnológicas que estão sendo utilizadas nos processos de aprendizagem como por exemplo, plataformas digitais, simuladores computacionais, robótica, entre outras. Onde, por meio da pedagogia empregada pelo professor, servem para melhorar a compreensão e estudo dos conteúdos nas diversas disciplinas.

Assim, Moran, (2000), defende a integração da tecnologia ao processo educativo de forma a ampliar as possibilidades de interação e colaboração entre professores e alunos. Reconhecendo que a tecnologia digital não é apenas uma ferramenta para transmitir informações, mas um meio para facilitar novas formas de aprendizagem, mais dialógicas e centradas no aluno, em consonância com a pedagogia de Paulo Freire, que valoriza a autonomia e a participação ativa dos alunos na construção do conhecimento.

Para Júlio e Donat, (2024), a mediação tecnológica pode ser compreendida como a interação entre os recursos tecnológicos e os processos humanos, atuando como elemento intermediário na comunicação e na construção do conhecimento.

Assim, considera-se a RVI como instrumento cultural entra a relação na triada Professor-Aluno-Tecnologia, visando permitir trocas instantâneas e uma aprendizagem mais ativa, o que reforça seu potencial como instrumento facilitador da aprendizagem.

A RVI oferece uma experiência ainda mais imersiva, onde os alunos são transportados para ambientes totalmente imersivos. Esse tipo de tecnologia tem sido amplamente utilizado para criar simulações de situações reais que seriam de difícil acesso ou muito caras para reproduzir em um ambiente tradicional de ensino (Siqueira, 2019). Dessa forma, a RVI passa ser um instrumento mediador de conteúdo específico, onde o professor tem a intencionalidade, como mediador principal, de representar e analisar junto com o aluno as diversas experiências simuladas, com a finalidade de obter melhoras no nível de conhecimento fazendo com que o aluno reforce e amplie a ZDP.

#### **4.6 Mediação pedagógico-tecnológica**

Esta junção pode ser considerada necessária, em busca de uma articulação intencional entre as dimensões pedagógica e tecnológica, unindo a ação planejada do professor com os recursos digitais disponíveis. Essa forma de mediação não se resume ao uso isolado da tecnologia, mas à sua integração consciente ao processo de ensino, com o objetivo de potencializar a aprendizagem significativa do conhecimento específico.

Para Moran, (2013), a utilização das tecnologias digitais pode fazer com que o aluno tenha uma aprendizagem ativa, transformando significativamente as maneiras didáticas que o professor pode abordar em sala de aula. Sendo assim, faz-se necessário que o professor passe por uma reconfiguração, se instrumentalize e crie meios para ensinar. Com o uso específico da RVI, essa articulação se concretiza quando as estratégias didáticas são pensadas com base nas possibilidades interativas da tecnologia, respeitando as necessidades dos alunos e os objetivos conceituais da disciplina.

Com base nessas ideias, Lemos, (2022), reforça a importância de uma cultura digital que a cada dia apresenta novidades, argumentando que a plena exploração de

ferramentas tecnológicas é essencial para aprimorar a compreensão e pensamento crítico, com a finalidade de atingir os objetivos educacionais. A mediação pedagógica, nesse contexto, surge como um meio essencial para facilitar a integração e o desenvolvimento contínuo desses alunos, reiterando a necessidade de um compromisso educacional inclusivo.

Desse modo, a mediação Pedagógico-Tecnológica representa uma convergência entre intencionalidade docente e instrumentalização tecnológica, ampliando a capacidade de o aluno aprender conteúdos complexos como os na Física Moderna para se aproximar na sua ZDP. Isso quer dizer que o aluno possa interpretar e compreender mais o fenômeno em estudo.

#### **4.7 Conhecimento específico**

O ensino de conteúdo específicos exige mais do que domínio técnico, é necessário que o professor saiba como transformar o conhecimento científico em aprendizagem acessível e significativa. Isso é particularmente relevante em áreas como a Física Moderna, em que os conceitos são altamente abstratos e desafiadores.

O conceito de Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (CPC), introduzido por Shulman, (1986), representa uma síntese entre o domínio do conteúdo específico de uma disciplina e o conhecimento pedagógico necessário para ensiná-lo de forma eficaz. Para Shulman, o CPC permite ao professor transformar o conteúdo disciplinar em formas compreensíveis para os alunos, utilizando analogias, exemplos e estratégias didáticas adequadas.

Rollnick et al, (2008), consideram o CPC como uma associação de quatro grandes domínios: conhecimento do conteúdo, conhecimento prévio dos estudantes, o contexto de vida dos sujeitos envolvidos, o conhecimento pedagógico geral (currículo escolar, gestão de classe, estratégias de ensino e avaliação).

Assim, levando em consideração o CPC pensa-se no Conhecimento Específico, onde se propõe como uma evolução conceitual, ao considerar que a mediação com tecnologias digitais, como a RVI, deve ser articulada intencionalmente ao ensino de conteúdo específicos, respeitando as características epistemológicas de cada área do conhecimento como é o caso da Física Moderna no conteúdo da

dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico. Ademais de explorar os potenciais mediadores desses ambientes tecnológicos para atuação efetiva na aprendizagem dos alunos.

#### **4.8 Desenvolvimento cognitivo facilitado**

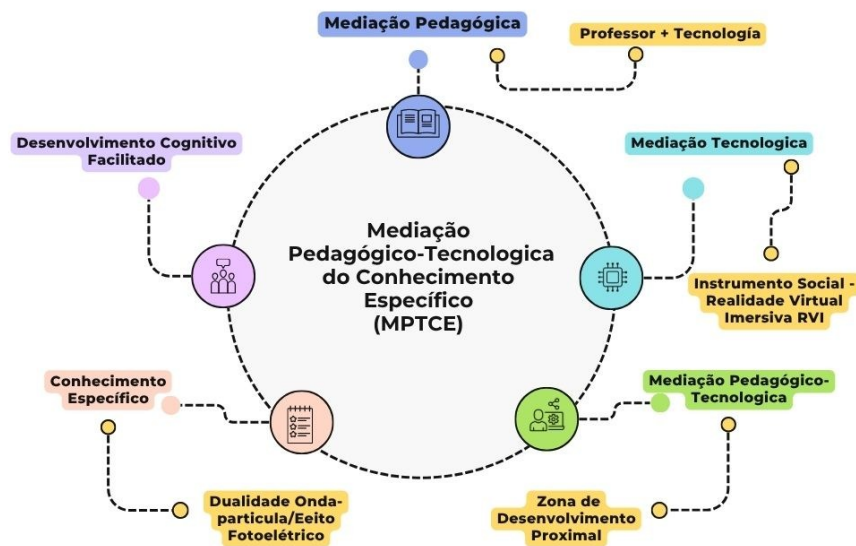
O desenvolvimento cognitivo refere-se à capacidade do aluno avançar em sua compreensão conceitual, por meio da integração entre mediação pedagógica, com o uso intencional da tecnologia e domínio do conhecimento específico. Quando essas dimensões atuam de forma articulada, especialmente em contextos imersivos, como a realidade virtual, o aluno é conduzido a níveis mais profundos de aprendizagem, superando barreiras conceituais que antes limitavam sua compreensão através de metodologias tradicionais clássicas e fundamentos pedagógicos ultrapassados diante os recursos e ferramentas atuais. (Guimarães, et al, 2024).

Nesse sentido, o desenvolvimento cognitivo facilitado emerge como resultado da articulação entre a mediação Pedagógico-Tecnológica e o conteúdo específico, sem esquecer o papel importante do professor. Ao integrar estratégias didáticas intencionais com a utilização das ferramentas tecnológicas com por exemplo a RVI, o professor amplia as possibilidades de intervenção na ZDP do aluno, possibilitando que conceitos abstratos sejam vivenciados de forma mais dinâmica. Assim, a aprendizagem deixa de ser apenas receptiva e passa a ser intencionalmente ativa e interativa, promovendo um avanço cognitivo de aprendizagem.

Considerando todos esses passos, a proposta do modelo MPTCE traz uma possibilidade prioritariamente para o professor de compreender os processos que envolvem a utilização de uma ferramenta tecnológica, que, sendo abordada e focalizada em cada componente sendo pensada e desenvolvida com a finalidade de formar uma estratégia didática com a utilização de tecnologias imersivas, para melhorar os processos de ensino-aprendizagem.

Assim, como está representado na figura 2, do esquema do modelo, todo é pensado e organizado envolta do objetivo principal que é mediar o conhecimento utilizando a RVI em que o aluno consiga aprofundar-se nos conhecimentos, e possa ter melhores experiências de aprendizagem.

**Figura 10 - Mediação Pedagógico-Tecnológica do Conhecimento Específico (MPTCE)**



**Fonte: Autoria própria (2025)**

Uma das descobertas deste estudo é a proposição do modelo MPTCE, que traz implicações significativas para a prática pedagógica e para futuras pesquisas. Para educadores, recomenda-se que a implementação da RVI no ensino de Física Moderna seja guiada por uma intencionalidade pedagógica clara, focando em como a tecnologia pode mediar a compreensão de conceitos abstratos e não apenas como um recurso de engajamento. É fundamental que os professores busquem formação para integrar a RVI de forma eficaz, explorando seu potencial como "andaime" na ZDP. Prioritariamente necessita-se de Políticas Educacionais que oportunizem e facilitem a formação e aplicação de outras tecnologias.

Para o desenvolvimento de conteúdo, sugere-se a criação de simulações RVI pelos professores, e sistema educacional que permitam a manipulação de variáveis, a visualização de fenômenos em diferentes escalas e a colaboração ativa entre estudantes, para estimular o raciocínio reflexivo sobre os fenômenos em estudos.

Em geral, aponta-se para a necessidade de estudos longitudinais que avaliem o impacto da RVI na aprendizagem conceitual em Física Moderna bem como pesquisas que comparem a eficácia de diferentes abordagens pedagógicas. Também se sugere o desenvolvimento e validação de métricas específicas para avaliar o

"desenvolvimento cognitivo facilitado" em ambientes imersivos e investigações sobre a viabilidade e o impacto de plataformas de RVI de baixo custo ou baseadas em IA para a criação de conteúdo.

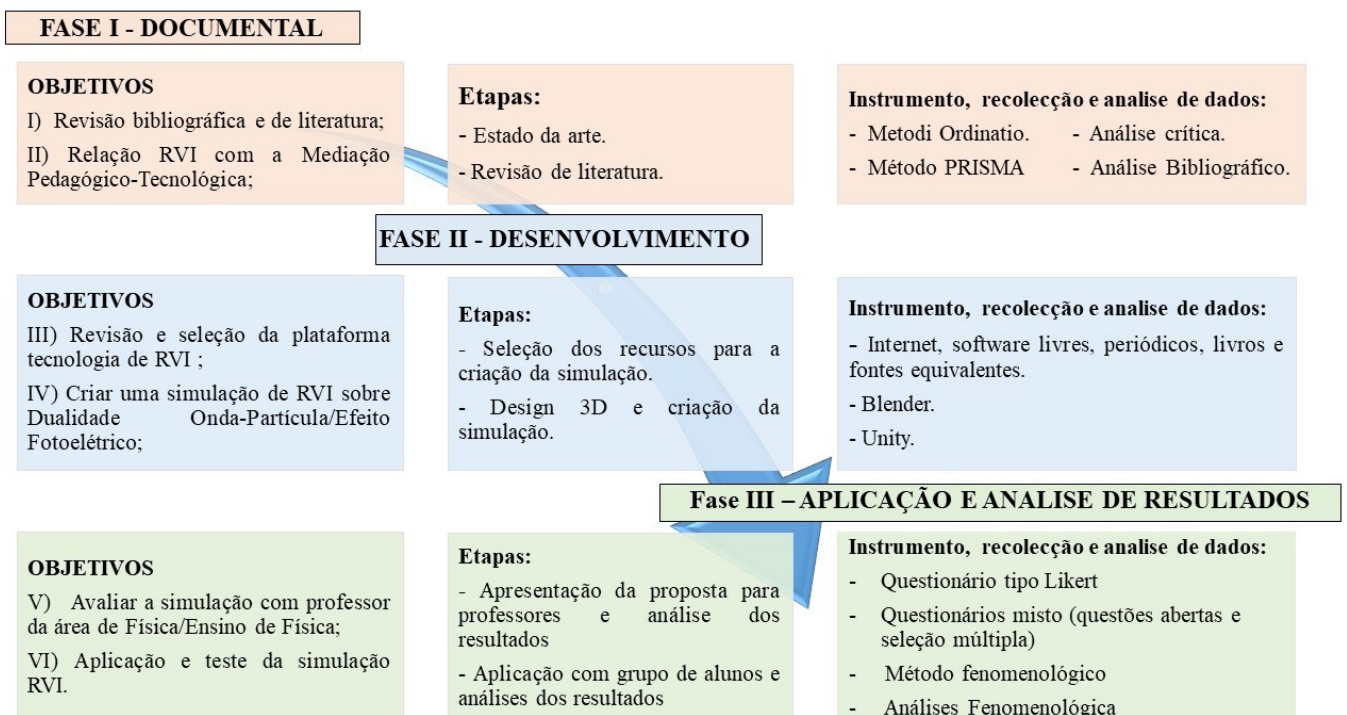
Essa articulação possibilitará a promoção do desenvolvimento cognitivo, no qual o aluno não apenas recebe informações, mas participa ativamente da construção do conhecimento, desenvolvendo habilidades cognitivas superiores e ampliando sua compreensão conceitual e, conseqüentemente, promovendo a divulgação científica.

## 5. PERCURSO METODOLÓGICO

Este capítulo descreve os métodos e técnicas empregados no desenvolvimento da tese. Segundo Creswell e Plano (2017), a metodologia inclui os métodos, táticas, estratégias e procedimentos que o pesquisador utilizará para atingir os objetivos do estudo. Nesse sentido, os métodos de pesquisa adotados para a condução das investigações realizadas nesta tese são representados tanto pelas abordagens qualitativa e quantitativa, através das quais, busca-se realizar uma análise descritiva e crítica dos artigos encontrados, seguindo um tipo de pesquisa mista segundo os objetivos nomeados.

Para alcançar nosso objetivo geral, foram conduzidas três fases no desenvolvimento metodológico, as quais estão relacionadas aos objetivos específicos. A estrutura metodológica da pesquisa está organizada conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 - Estrutura metodológica da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2025)

Cada uma das fases apresentadas na figura 11 oferece investigações científicas distintas. Assim, os objetivos possuem procedimentos metodológicos próprios relacionados a suas especificidades, o que motivou classificar esta metodologia por fases. Consequentemente, se obtém classificações dentro de cada uma das fases em subseções para cada etapa, com a finalidade de evidenciar melhor a descrição feita para cada uma delas durante a pesquisa. As próximas seções esclarecem os métodos e ferramentas utilizadas para a condução de cada fase, dentro da metodologia.

### **5.1 Fase I – Documental.**

Em referência aos objetivos desta fase, a pesquisa é de tipo exploratória com abordagem qualitativa, compreendendo várias categorias como: diagnóstico, abordagem e fundamentação teórica que relacionam o objetivo de pesquisa. Ademais, permite entender os procedimentos metodológicos, as atividades, a análise e as conclusões. Segundo Gil, (2010), esse tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou construir hipóteses. A maioria dessas pesquisas envolve: levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulam a compreensão do objeto da pesquisa.

Levando em consideração essas características foram feitas três (03) levantamentos bibliográficos. Tais buscas tiveram seus próprios objetivos. No primeiro levantamento feito no 2023 procurou-se conhecer quais são as pesquisas educacionais mais recentes que utilizam simulação computacional, especificamente em realidade virtual e imersiva, como ferramentas didática-pedagógica nos processos de ensino de Física, e mais especificamente no ensino de Física Moderna.

O segundo levantamento realizado no final de 2023 teve como objetivo realizar uma análise das pesquisas que empregam a teoria construtivista como base de aprendizagem no contexto do ensino da Física e utilização da tecnológica, nos últimos quatro anos (2019-2022). Dessa maneira, considerou-se para esta pesquisa aprofundar na teoria construtivista de Lev Vygotsky e a mediação por meio de instrumentos e signos.

Para as duas primeiras revisões bibliográfica, foi utilizada a metodologia de Pagani, Kovaleski e Resende, (2018) chamada *Methodi Ordinatio*<sup>19</sup> por ser um método de multicritério para a tomada de decisão na seleção de artigos científicos e composição de portfólio bibliográfico. O método utiliza três fatores (multicritério) relevantes para seleção; número de citações (reconhecimento da publicação pelos pares); fator de impacto (relevância do periódico em que o artigo foi publicado) e ano de publicação (atualidade da pesquisa).

A proposta dos autores dentro da metodologia é classificar os artigos científicos que compõem o material de análise de acordo com sua relevância, a partir da aplicação de uma equação - *InOrdinatio*<sup>20</sup> - que considera o número de citações, fator de impacto e atualidade em relação ao ano de publicação de cada trabalho. Os autores Pagani, Kovaleski e Resende (2018), recomendam 09 etapas ou fases: 1- O estabelecimento ou intenção da pesquisa; 2- Pesquisa preliminar nas bases de dados (palavras-chaves); 3- Definição das palavras-chaves, bases de dados e delimitação temporal; 4- Pesquisa definitiva nas bases de dados; 5- Procedimento de filtragem; 6- Identificação do fator de impacto, ano de publicação e número de citações; 7- *InOrdinatio*; 8- Localização dos textos em formato integral; 9- Leitura sistemática e análise dos artigos.

Na sequência, no terceiro levantamento bibliográfico, foi atualizada a revisão sistemática e análise crítica sobre a utilização da RVI no ensino de Física, especificamente na Física Moderna. Ademais, de relacionar o uso dessa tecnologia como ferramenta de mediação pedagógica, permitindo analisar as últimas produções publicadas entre 2023-2025. Na revisão sistemática de pesquisas, optou-se por realizar a análises com base no protocolo PRISMA<sup>21</sup> 2020, em inglês, Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (Page, et al, 2021).

A revisão foi conduzida seguindo as quatro etapas principais do modelo PRISMA: identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, utilizando critérios previamente definidos para seleção e exclusão dos artigos utilizando o checklist<sup>22</sup>

---

<sup>19</sup> <https://reginapagani2011.wixsite.com/methodiordinatio>

<sup>20</sup> $InOrdinario = (Fi/1000) + \alpha * [10 - (Ano de pesquisa - Ano de publicação)] + (\sum Ci)$ . Onde Fi representa o fator de impacto do periódico consultado;  $\alpha$  é o valor entre 1 e 10, atribuído pelo pesquisador de acordo com a relevância do ano de publicação e  $\sum Ci$  o número de citações do artigo.

<sup>21</sup> <https://www.prisma-statement.org/>

<sup>22</sup> <https://www.prisma-statement.org/prisma-2020-checklist>

indicado pela metodologia. As buscas foram realizadas em bases de dados científicas de ampla relevância, com o objetivo de localizar estudos que abordassem pesquisas educacionais mais recentes que utilizam a RVI, como ferramentas didática-pedagógica na Física Moderna.

Na sequência apresenta-se em detalhes a os resultados e análises em cada uma das revisões feitas nesta tese.

### 5.1.1 Primeira revisão bibliográfica e uma análise crítica de pesquisas sobre o uso da realidade virtual no ensino de Física Moderna

Para o desenvolvimento da revisão e análise crítica seguimos as etapas sugeridas na metodologia iniciado com o tema principal da pesquisa, fazendo uma busca de artigos publicados com relação ao ensino de Física utilizando Realidade Virtual, visando também em ensino de Física quântica como foco principal. Definiu-se, então, as palavras-chaves com um total de 06 combinações traduzidas ao inglês da seguinte maneira; “virtual reality” AND “physics teaching” AND “virtual reality teaching” / “Virtual Reality” AND “Teaching” AND physic / “physics teaching” AND “virtual reality” / “Virtual Reality” AND “Educations” AND “physic” / “quantum physics” AND “virtual reality” / "Virtual Reality" AND physics OR "modern physics" AND Teaching OR Pedagogy.

Uma vez definidas as palavras-chave, foi realizada uma busca em 04 bases de dados, a saber, Scopus, Science Direc, Web of Science e Scielo.Org. Estas bases foram escolhidas pelo maior índice de trabalhos publicados de alcance nacional e mundial. Posteriormente, os dados foram filtrados no Mendelay<sup>23</sup> para exclusão de artigos duplicados. É importante mencionar neste ponto que os termos foram pesquisados nos títulos dos documentos e que a busca ocorreu entre março e julho de 2023.

A análise iniciou-se com a busca de artigos em relação às palavras-chave inseridas nas bases de dados, que teve um resultado parcial de 398 artigos, após uma primeira filtragem nas bases e considerando uma classificação em áreas afins

---

<sup>23</sup> O Mendeley é um software gratuito, desenvolvido pela empresa Elsevier, disponibilizados aos usuários para gerenciar, compartilhar, ler, anotar e editar artigos científicos (MORAES, 2018).

semelhantes ao tema de pesquisas: Ensino de Física, Física e Astronomia, Informática, Ciências e ensino interdisciplinar. Os resultados da busca em cada base de dados citada acima são apresentados na tabela 2 a seguir:

**Tabela 1 - Busca nas bases de dados e resultados.**

	<b>COMBINAÇÕES DE PALAVRAS-CHAVE</b>	<b>A SCOPUS</b>	<b>B SCIENCE DIREC</b>	<b>C WEB OF SCIENCE</b>	<b>D SCIELO.ORG</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1</b>	“virtual reality” AND “physics teaching” AND “virtual reality teaching”	Resultados: 16 artigos	Resultado: 6 artigos	Resultado: 4 artigos	0 resultados	26
<b>2</b>	“Virtual Reality” AND “Teaching” AND physic	4 artigos	10 artigos	31 artigos	0 resultados	45
<b>3</b>	“physics teaching” AND “virtual reality”	28 artigos	99 artigos	7 artigos	0 resultados	134
<b>4</b>	“virtual reality” AND “educations” AND “physics”	36 artigos	Resultados do Artigo 19	Resultados do artigo 31.	0 resultados	86
<b>5</b>	“physics quantum” AND “virtual reality”	1 artigo	0 resultados	8 artigos	0 resultados	9
<b>6</b>	"Virtual Reality" AND physics OR "modern physics" AND Teaching OR Pedagogy	0 resultados	14 artigos	53 artigos	31 artigos	98
<b>Total</b>						<b>398</b>

**Fonte: Autoria própria (2023)**

As combinações de palavras-chave foram pesquisadas em cada base citada anteriormente, obtendo-se um número de buscas não muito significativo. A seguir, o procedimento foi filtrar os trabalhos utilizando o software de gerenciamento de referências Mendeley Desktop. Os 398 artigos foram exportados para o software e organizados por ano, iniciando em ordem decrescente a partir do ano 2023, que foi feita a pesquisa.

Em seguida procedeu-se à exclusão dos artigos duplicados, sem título, ano ou autores, além de excluir também por tipo de pesquisa (conteúdo que não tenha relação com o objetivo da pesquisa). Posteriormente, foi realizada uma leitura prévia dos títulos, resumos e palavras-chave, a fim de excluir os possíveis artigos mais distantes dos objetivos de pesquisa, resultando nos seguintes resultados na tabela 3:

**Tabela 2 - Artigos filtrados pelo Mendeley**

ARTIGO INICIAL	398
PEAPER DUPLICADO	180
EXCLUIR POR TIPO DE PESQUISA	134
TOTAL DE ARTIGOS EXCLUÍDOS	314
NÚMERO DE ARTIGOS NO PORTFÓLIO	84

**Fonte: Autoria própria. Dados da pesquisa (2023).**

Após os artigos filtrados, eles foram exportados no formato BibTeX, em seguida, abertos no software JabRef para exportação e construção de uma planilha com os dados das publicações dos artigos, totalizando 84 artigos. Concluída essa etapa, foi realizada a leitura completa dos 84 artigos selecionados em primeira instância, os quais foram submetidos à análise de referências. Assim, o conjunto final foi composto por seis áreas de estudo apresentadas na tabela 4:

**Tabela 3 - Áreas de Pesquisa Selecionadas**

ENSINO DE FÍSICA	12
FÍSICA E ASTRONOMIA	10
ENSINO DE CIÊNCIAS (MATEMÁTICA, QUÍMICA E BIOLOGIA)	21
INTERDISCIPLINAR	23
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO	18

**Fonte: Autoria própria. Dados da pesquisa (2023).**

Dentro desta seleção de artigos, de 1996 a 2019, não há evidências significativas de pesquisas que relacionem à RV e o ensino de Física ou a qualquer uma das outras áreas da classificação apresentada acima, mas de 2020 até a conclusão deste estudo, observou-se um número de pesquisas significativo que abordam o tema. Uma razão para o aumento das pesquisas pode referir-se aos processos emergenciais de ensino remoto, com os quais a educação enfrentou uma forte mudança nos processos de adaptação no que diz respeito aos modelos de ensino, sendo um deles o ensino remoto por causa da pandemia de COVID-19 que afetou o mundo inteiro (Oliveira, Lucas, Iquiapaza, 2020).

Dos 12 artigos analisados, aproximadamente 60% são voltados ao ensino de Física clássica, e os demais 40% tratam de conteúdos no ensino de Física moderna.

Portanto, esta pesquisa encontrou apenas 12 artigos que relacionavam o uso da RV ao ensino de Física, os quais foram selecionados e organizados na Tabela 4 abaixo:

**Tabela 4 - Artigos selecionados sobre Ensino de Física e Ensino de Física Quântica**

Nº	Artigo	Ano	InOrdinatio
1	Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review	2016	766
2	Ready student one: Exploring the predictors of student learning in virtual reality	2020	119
3	Embodied science and mixed reality: How gesture and motion capture affect physics education	2017	104
4	Formation Of Skills to Visualize of Future Physics Teacher: Results Of The Pedagogical Experiment	2021	103
5	Educational Opportunities and Challenges in Augmented Reality: Featuring Implementations in Physics Education	2021	102
6	Do curious students learn more science in an immersive virtual reality environment? Exploring the impact of advance organizers and epistemic curiosity	2022	100
7	Designing a virtual reality programming environment for quantum computers	2021	100
8	A Learning Experience in Inquiry-Based Physics with Immersive Virtual Reality: Student Perceptions and an Interaction Effect Between Conceptual Gains and Attitudinal Profiles	2021	96
9	Designing VR Experiences – Expectations for Teaching and Learning in VR	2021	91
10	Argumentation in a virtual reality environment: an approach with future Physics teachers	2021	90
11	Virtual reality (VR) simulation of a nuclear physics laboratory exercise	2020	87
12	Using virtual reality in electrostatics instruction: The impact of training	2020	31

**Fonte: Aatoria própria (2023).**

A seguir é apresentada uma tabela com o objetivo de cada pesquisa, os resultados relevantes e uma análise crítica dos artigos selecionados.

## 5.1.2 Discussão das descobertas

**Quadro 2 - Títulos, objetivos, resultados e análise crítica dos artigos selecionados na área de ensino de Física, em especial Física Moderna.**

<b>Título</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Resultados</b>	<b>Análise crítica</b>
1) Laboratórios virtuais para educação em ciência, tecnologia e engenharia: uma revisão	O estado da arte em Laboratórios e mundos virtuais nas áreas de ciência, tecnologia e engenharia.	Pesquisa na área educacional, com ênfase em robótica.	A pesquisa enriquece a compreensão das complexas relações entre robótica, engenharia e Física.
2) Aluno um pronto: explorando os preditores de aprendizagem dos alunos em realidade virtual	Vantagens da VR nos modos de aprendizagem para justificar sua implantação.	Este estudo sugere que a RV proporciona oportunidades de aprendizagem comparáveis a outras modalidades, além de melhorar significativamente as atitudes dos alunos.	O uso da RV tem um impacto positivo na aprendizagem, mas requer um planejamento crítico das aulas.
3) Ciência incorporada e realidade mista: como a captura de gestos e movimentos afeta a educação Física	Este estudo avalia quais variáveis previram ganhos de aprendizagem após uma aula de uma hora no campo elétrico por meio de design misto.	Os grupos baseados em gestos ativos tiveram pontuação consideravelmente maior na avaliação de conhecimento utilizando o tablet Wacom com gestos.	É importante atentar para as características dos participantes, a metodologia de ensino utilizada e o acesso aos materiais na utilização das estratégias de ensino propostas pelos artigos.
4) Formação de Habilidades de Visualização do Futuro Professor de Física: Resultados da Experiência Pedagógica	Este estudo descreve os resultados da experiência pedagógica na formação de habilidades de visualização de futuros professores de Física.	A análise de softwares de apoio ao ensino de Física permite dividi-lo em três classes: laboratórios virtuais e digitais de Física, softwares matemáticos e de simulação.	Considerando os resultados deste experimento, é importante saber se os laboratórios virtuais oferecem uma representação precisa dos fenômenos físicos.
5) Oportunidades e desafios educacionais em realidade aumentada: apresentando implementações no ensino de Física	Este estudo fornece a conceituação e desenvolvimento de realidade aumentada (AR)	Esta revisão discute os avanços na RA como uma ferramenta importante no ensino de Física, também identifica desafios potenciais e prevê o futuro pesquisando tendências e avaliações recentes em AR.	Analisa como a RA está sendo aplicada para melhorar o ensino e a compreensão de conceitos físicos.
6) Os alunos curiosos aprendem mais ciências em um ambiente imersivo de realidade virtual?	Este estudo apresenta o ambiente virtual imersivo para implementações em sala de aula de ensino de Física.	As evidências empíricas neste estudo apoiam a ideia de que um nível mais elevado de presença percebida na RV imersiva pode prejudicar os resultados de aprendizagem dos alunos.	Para este estudo, sugere-se a revisão da metodologia de avaliação considerando os aspectos relevantes sobre a

			aprendizagem por meio do uso da RV imersiva.
7) Projetando um ambiente de programação de realidade virtual para computadores quânticos	Desenvolvimento de uma plataforma de ensino de programação de computadores baseada em realidade virtual (VR) utilizando Unity 3D.	Os resultados sugerem que o estudo multidisciplinar utilizando uma nova ferramenta QU-VR foi significativo. Além disso, está aplicação possibilitou o desenvolvimento de três ambientes VR com Unity.	Para este estudo, sugere-se a revisão da metodologia de avaliação considerando os aspectos relevantes sobre a aprendizagem em relação à aplicação da RV.
8) Uma experiência de aprendizagem em Física baseada em investigação com realidade virtual imersiva: percepções dos alunos e um efeito de interação entre ganhos conceituais e perfis atitudinais.	Investigar o efeito potencial da integração de uma simulação imersiva de VR nas aulas de Física.	Nesta análise, diretrizes para professores são informados sobre como Integrar a tecnologia para melhorar a aprendizagem.	Para este estudo, sugere-se que os educadores encontrem a diversidade potencial de atitudes dos alunos em relação ao aprendizado de Física durante a integração de Simulações imersivas de VR na sala de aula.
9)Projetando experiências de RV – Expectativas para ensino e aprendizagem em RV	Facilitar a difícil tarefa de projetar plataformas educacionais de RV, descrevendo as expectativas de educadores e alunos.	Os resultados mostram que o Marron como plataforma de VR apresenta grande potencial para o ensino de Física, tanto para professores quanto para alunos.	Sugere-se que é importante fazer uma avaliação para avaliar se a plataforma Maroon tem auxiliado professores e alunos na compreensão dos conceitos de Física.
10) Argumentação em ambiente de realidade virtual: uma abordagem com futuros professores de Física	Investigar a promoção da argumentação em ambiente de realidade virtual com tema de lançamento oblíquo.	Os resultados mostram que são fornecidas orientações aos professores sobre como integrar a tecnologia para melhorar a aprendizagem.	Sugere-se uma reflexão sobre se as práticas de simulação em RV contribuem para a atual demanda da sociedade.
11) Simulação de realidade virtual (VR) de um exercício de laboratório de Física nuclear	Descrever um experimento sobre a determinação da massa de deutério utilizando tecnologia VR.	Os resultados mostram que cada um dos laboratórios virtuais ofereceu um conjunto de dados experimentais que os alunos podem utilizar com RV em outras instituições.	É sugerido investigar como os dados experimentais oferecidos neste estudo são compartilhados com alunos de diferentes instituições de ensino antes de usá-los em RV

12) Usando realidade virtual no ensino de eletrostática: impacto do treinamento	Considerar atividades de treinamento em RV para melhorar a capacidade dos alunos de aprender efetivamente sobre eletrostática	Os resultados mostram que o ensino de RV superou significativamente os alunos que receberam instrução equivalente por meio de vídeos ou imagens estáticas.	É sugerido que o nível de interação que a RV proporciona em comparação com vídeos ou imagens estáticas deve ser investigado.
---	---	--	--

**Fonte: Autoria própria (2023).**

De acordo com o objetivo desta tese, o trabalho mais relevante selecionado é o trabalho intitulado; “Laboratórios virtuais para ensino de ciência, tecnologia e engenharia: uma revisão”. Neste trabalho, Potkonjak V et al, (2016), realizam um estudo na área de ensino de Ciências relacionadas à Física, Tecnologia e Engenharia, com foco na imersão da tecnologia particularmente na educação a distância. Como a maioria dessas áreas exige exercícios de laboratório para fornecer habilidades eficazes e experiência prática, eles apresentam um estudo sobre tecnologias emergentes que podem contribuir para resolver algumas dificuldades, que incluem: computação gráfica, realidade aumentada, computação de dinâmicas nacionais e mundos virtuais. O trabalho proporcionou, então, um conhecimento sobre diversas ferramentas de imersão em tecnologia virtual que podem ser adaptadas, dependendo das necessidades do professor no contexto dos processos de ensino.

Já Madden J et al, (2020) apresentam em “A Ready Student: Exploring the predictors of student learning in virtual reality” uma investigação que visa testar o impacto entre três tecnologias instrucionais diferentes: uma atividade prática, simulação de desktop (notebook) e simulação de realidade virtual. O foco do conteúdo foi o ensino de astronomia, o objetivo geral visava recriar um sistema Sol-Terra-Lua, onde cada participante poderia controlar variáveis de tempo para observar mudanças na fase da Lua e nas posições do Sol e da Terra. Um dos resultados mais relevantes foi que 78% dos participantes do projeto preferiram a condição VR e ao descrever seus motivos utilizaram frases como: “A condição VR era “mais fácil de visualizar”, “mais realista”, “mais imersivo”, “mais divertido”, “mais interessante” e “mais preciso”. Os participantes que preferiram à RV geralmente disseram que ver a imagem completa de forma realista os ajudou a aprender.

Esses resultados mostram a eficiência do uso da RV nos processos de ensino e aprendizagem. Segundo De Souza, et al, (2022) a RV tem como princípio a interação e imersão do usuário, o que proporciona aos alunos acesso virtual a um ambiente que, de outra forma, seria inacessível. Contudo, pode ser necessário desenvolver uma estratégia de aprendizagem voltada para esta metodologia de ensino específica, para que os alunos possam tirar proveito dela, pois a RV pode se tornar um excelente recurso pedagógico.

O próximo trabalho analisado foi “Ciência incorporada e realidade mista: como a captura de gestos e movimentos afetam a educação em Física” de Johnson-Glenberg e Megowan-Romanowicz, (2017). Nele, os autores fizeram um design misturando texto e multimídia (jogo e simulador virtual) semelhante a um jogo, para ensinar o conteúdo de ‘campo elétrico’. Um dos objetivos foi criar um conteúdo ideal; e o objetivo foi explorar um formato de teste que fosse sensível ao ensino de conceitos abstratos relacionados ao campo elétrico. Os autores classificaram a estratégia em quatro condições: símbolos e texto; baixo incorporado; altamente incorporado/ativo; e altamente incorporado-ativo com narrativa, sendo os dois últimos mais interativos com gestos corporais através do sensor Kinect.

O resultado mais significativo encontrado neste trabalho está na imersão virtual e aplicações mais incorporadas, obtendo maiores ganhos de aprendizagem para as condições mais incorporadas. A imersão na virtualidade nos processos de aprendizagem em Física, apresentada sobre o campo elétrico, mostra a importância das estratégias utilizadas pelas tecnologias que permitem a exibição interativa e virtual de conteúdo, o que pode ser muitas vezes difícil de demonstrar em laboratórios reais.

No trabalho de Semenikhina, et al, (2021), intitulado: “Formação de Habilidades de Visualização do Futuro Professor de Física: Resultados da Experiência Pedagógica”, os autores fizeram uma análise em relação aos professores de ciências e como suas habilidades na construção didática estão sendo utilizadas para explicar conceitos abstratos em ciências e a lógica dos processos e a explicação dos fenômenos naturais. Um dos objetivos da pesquisa foi descrever um experimento pedagógico sobre o desenvolvimento de habilidades de visualização de futuros professores de Física, que são influenciados por materiais didáticos.

Ao mesmo tempo, para modelagem imitativa, foram utilizados sistemas de computação gráfica (Adobe Photoshop, CorelDraw, 3D Max, etc.), bem como ambientes de animação (Adobe Flash, Adobe After Effect, Cinema 4D e outros) para criar a simulação. Concluiu-se, então, que no processo educacional há necessidade de formação avançada de professores, principalmente de Física em relação ao desenvolvimento de software (laboratórios físicos virtuais e digitais), software de modelagem (matemática e simulação), software de uso geral (software de escritório, programas, objetos Smart-Art e animação).

Portanto, é importante formular políticas que envolvam os educadores no processo de desenvolvimento de recursos didáticos por meio da tecnologia. Uma alternativa para o desenvolvimento de políticas pode ser por meio de aplicativos gratuitos aliados as práticas de ensino bem planejadas e bem executadas, possibilitando explorar o potencial que as ferramentas tecnológicas têm a oferecer às instituições de ensino, na promoção de aulas mais dinâmicas, atrativas e participativas ligadas às tecnologias que envolvem a sociedade hoje.

No artigo “Oportunidades e Desafios Educacionais em Realidade Aumentada: Introduzindo a Implementação no Ensino de Física”. Lai JW e Hao C Kang, (2022), desenvolveu-se uma pesquisa com o objetivo de realizar e proporcionar a conceituação e desenvolvimento de um ambiente de realidade aumentada (RA) no ensino de Física. Esta revisão apresenta diversas ferramentas que os educadores podem usar, como o kit básico para iniciantes como ferramenta introdutória.

Nesse sentido, Lee; Hsu e Cheng, (2022), no trabalho “Os alunos curiosos aprendem mais ciências em um ambiente imersivo de realidade virtual? Explorar o impacto dos organizadores avançados e da curiosidade epistêmica” examinaram o efeito do uso de mapas conceituais, uma ferramenta organizacional avançada, na aprendizagem científica dos alunos por meio de RVI. Eles usaram um aplicativo “Find the ROOT”, desenvolvido por Cheng et al, (2019). O material de aprendizagem foi projetado para alunos do ensino fundamental aprenderem conceitos relacionados aos estados físicos da matéria e foi exibido em fones de ouvido Samsung Gear. Embora o sistema de RVI utilizado no presente estudo tenha sido testado quanto à usabilidade e tenha relatado uma boa experiência de fluxo do usuário e um alto nível de utilidade, isso não levou necessariamente a melhores resultados de aprendizagem cognitiva.

Os resultados mostraram que os alunos obtiveram pontuações significativamente maiores em conceitos relacionados aos estados físicos da matéria após a realização do experimento com RVI. Os autores também apresentaram o uso de estratégias ativas de aprendizagem que previram, positivamente, o envolvimento de habilidades cognitivas nos alunos.

Por sua vez, o trabalho “Projetando um ambiente de programação de realidade virtual para computadores quânticos” de Hakan; Aids e Erdal, (2021), apresenta uma abordagem multidisciplinar que incorpora diferentes disciplinas ao design de materiais de RV. Ele aborda os fundamentos da computação quântica e da programação de scripts na plataforma de design Unity 3D para projetar uma plataforma educacional baseada em VR para ensinar iniciantes em programação de computadores quânticos. Pode ser possível que num futuro próximo as universidades adaptem os seus currículos para cursos mais baseados em tecnologia em computação quântica. Nesta pesquisa, o desenvolvimento de conteúdos de Física moderna em geral nas aplicações de computadores quânticos pode contribuir para incorporar a RV aos futuros processos de ensino, uma vez que conteúdos abstratos não visualizados no mundo real podem ser recriados na imersão da virtualidade.

O trabalho de Tsivitanido; Georgiou e Loannou, (2021) intitulado “Uma Experiência de Aprendizagem de Física Investigativa com Realidade Virtual Imersiva: Percepções dos Alunos e Efeito de Interação entre Ganhos Conceituais e Perfis de Atitudinais” visou realizar uma intervenção baseada em pesquisa de 90 minutos com tecnologia aprimorada sobre o tema de Teoria da Relatividade Especial em um curso de Física, utilizando um design de experiência de aprendizagem estruturado em torno de uma simulação imersiva de VR.

Um dos resultados mais relevantes deste trabalho indicou uma interação significativa entre ganhos de aprendizagem conceitual nos alunos e mudanças de atitude nos professores. Tais características positivas no uso da RV poderão ser consideradas em pesquisas futuras, que envolvam o desenvolvimento de recursos educacionais que possibilitem algumas aplicações como laboratórios virtuais; aulas remotas com professores e alunos; participação em eventos virtuais, consulta a bibliotecas virtuais, simulações, entre outros. (Tori; Kirner, 2006).

O trabalho de Ferreira, et al, (2021) “Argumentação em ambiente de realidade virtual: uma abordagem com futuros professores de Física” investigou a promoção da argumentação em ambiente de realidade virtual com a temática do lançamento oblíquo de um objeto com uma questão problemática. Essa questão era a seguinte: Existem dois objetos no ambiente de simulação, A e B. Ao lançar para atingi-los, qual dos alvos é atingido no menor tempo de voo? Para este produto, eles utilizaram a plataforma Sandbox. Essa plataforma é um ambiente isolado onde os desenvolvedores testam e experimentam software com segurança sem afetar os sistemas de produção, comumente usados para desenvolvimento e análise de segurança. A pesquisa foi aplicada a um grupo de 14 egressos de cursos de ciências exatas de uma universidade pública brasileira na disciplina de Desenvolvimento de Material Didático.

Os resultados mostraram que as práticas argumentativas articuladas às simulações baseadas em RV contribuem para a crescente demanda da sociedade pela integração das tecnologias digitais de informação e comunicação no contexto educacional. Considerando seu potencial para fomentar a argumentação, recomendam que ações como as desenvolvidas neste trabalho sejam realizadas nas instâncias apropriadas dos cursos de licenciatura em Física, a fim de preparar o futuro professor de Física para o processo de aprendizagem imersiva em um ambiente perspectiva argumentativa.

No trabalho “Simulação de realidade virtual (VR) de um exercício no laboratório de Física nuclear” Šiđanin; Plavšić e Krmar M (2020), os autores realizaram uma pesquisa com o objetivo de descrever alguns dos benefícios do uso da RV no ensino de Física em nível universitário. Foi projetado um experimento de VR que incluiu todas as etapas do processo de medição Física em relação ao laboratório de espectroscopia de raio gama de baixo fundo. Após a experiência, os alunos receberam dados experimentais pré-elaborados (espectro gama) dos quais extraíram um resultado específico (neste caso, a massa do deutério) e, conseqüentemente, validaram alguns dos conhecimentos adquiridos em sala de aula.

O resultado mais importante encontrado nesta pesquisa é que poucas universidades possuem equipamentos adequados para cobrir amplamente a área de Física Nuclear, especialmente para cursos avançados ou mestrados. Esta é uma

desvantagem na utilização de recursos de RV porque o equipamento não é de baixo custo para consumo em massa pelas instituições. Contudo, podem ser criados projetos educacionais que motivem os pesquisadores no desenvolvimento e aplicações deste recurso tecnológico no sistema educacional.

Por fim, Porter, et al., (2020) desenvolveram uma pesquisa denominada “Usando realidade virtual no ensino de eletrostática: O impacto do treinamento”, que visa desenvolver atividades em realidade virtual sobre eletrostática por meio de RV Game, permitindo aos alunos a capacidade de melhorar os conhecimentos sobre o conteúdo, e assim, possam aprender de forma eficaz com as instruções do jogo, concentrando-se no conteúdo de eletrostática. Os sujeitos deste trabalho foram alunos do segundo semestre de um curso introdutório à Física baseado em cálculo.

Um dos resultados mais relevantes desse trabalho é que o videogame prolongado proporciona uma espécie de “treinamento” que permite ao aluno aprender com mais conforto no ambiente virtual, onde a RV pode ser uma atividade de treinamento que não está relacionada à eletrostática, mas que pode ajudar a preparar os alunos para aprender conteúdo de eletrostática. Dessa forma, o uso da RV pode se tornar muito significativo, pois pode melhorar o desempenho dos alunos independentemente da escolha do conteúdo.

### 5.1.3 Resultados das pesquisas que empregam a teoria construtivista como base de aprendizagem no contexto do ensino da Física, por meio da mediação tecnológica.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, utilizou-se as etapas sugeridas na metodologia iniciando com uma busca de publicações com relação ao ensino de Física utilizando o construtivismo e as tecnologias educacionais. Definiu-se as palavras-chaves com um total de 03 combinações apresentadas da seguinte forma; *“Physics teaching” AND “constructivism” AND “technology” / “Physics teaching” AND “constructivism” / “physics teaching” AND “constructivism” AND “educational technology”*. Com o objetivo de estudar na produção de artigos científicos a relação do construtivismo e as tecnologias utilizadas no ensino de Física.

Uma vez definida as palavras chaves, se fez a busca em 04 bases de dados que foram escolhidas pelo maior índice de trabalhos publicados nas bases, visando

ter um alcance nacional e mundial. As bases selecionadas foram; Scopus, Science Direc, Web of Science e Scielo.Org. Depois da busca nas bases, os dados foram filtrados no Mendelay para fazer a exclusão de artigos em duplicata, sem ano de publicação e sem autores. Na sequência passou-se para o JabRef, gerenciador de referências, e finalmente para a planilha eletrônica no Excel, cumprindo, assim, a ordem das etapas sugeridas no *Methodi*.

Utilizando as palavras chaves mencionadas se obteve um resultado parcial de 139 artigos, após ser feita uma primeira filtragem nas bases e considerando uma classificação em áreas relacionadas ao tema de pesquisa, a saber: Ensino de Física, Física e astronomia, ensino de ciência e interdisciplinaridade. Os resultados obtidos foram organizados na tabela 7;

**Tabela 5- Busca nas bases de dados e resultados.**

	<b>KEYWORDS COMBINATIONS</b>	<b>A SCOPUS</b>	<b>B SCIENCE DIRECT</b>	<b>C WEB OF SCIENCE</b>	<b>D SCIELO.ORG</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1</b>	“Physics teaching” AND “constructivism” AND “technology”	Article 14 results	Article 10 results	Article 2 results	1 results	<b>27</b>
<b>2</b>	“Physics teaching” AND “constructivism”	Article 4 results	Article 18 results	Article 12 results	12 results	<b>46</b>
<b>3</b>	“Physics teaching”AND “constructivism” AND/OR “educational technology”	Article 10 results	Article 1 results	Article 2 results	53 results	<b>66</b>
<b>Total</b>						<b>139</b>

**Fonte: Autoria própria (2023).**

Em cada uma das bases foram procuradas as 03 combinações de palavras chaves. E, após selecionar os filtros nas áreas mencionadas, o número de artigos caiu significativamente como é apresentado na tabela 7. Na sequência, iniciou-se a etapa 5- Procedimento de filtragem utilizando o *software* de gerenciamento de referências Mendeley Desktop onde os 139 artigos foram organizados por ano começando de forma decrescente desde o ano atual da pesquisa 2023, para logo proceder excluir artigos em duplicatas, sem título, ano, e sem autores, além de excluir também por tipo de pesquisa (conteúdos que não estão relacionados com o objetivo de pesquisa). Posteriormente, realizou-se a leitura previa dos títulos, resumos e palavras chaves

para fazer a exclusão dos possíveis artigos que estão mais afastados da intenção de pesquisa, tendo os seguintes resultados na tabela 8;

**Tabela 6 - Artigos filtrados no Mendeley**

Inicial article	139
Duplicate paper deleted	35
Exclude by search type	10
Total article delete	45
Number of articles in the portafol	94

**Fonte: Autoria própria (2023).**

Desta maneira, após o ranking dos artigos, se fez uma seleção dos primeiros 11 artigos que tem relação direta com ensino de Física e que se relaciona com as teorias construtivistas, levando em consideração artigos mais novos. Com isso, obteve-se os artigos segundo a ordem apresentada na tabela 9.

**Tabela 7 - Artigos selecionados para o estudo sistemático de acordo com o ranking**

Nº no Ranking	Artigo	Ano	InOrdinatio
1	Measuring actual learning versus feeling of learning in response to being actively engaged in the classroom	2019	866,011
5	Supporting Technology 4.0: Ethoconstructivist Multimedia for Elementary Schools	2019	105,001
6	IDAS: a student-centered teaching methodology to encourage the learning of physics	2022	105
8	Teaching and learning Physics using interactive simulation: A guided inquiry practice	2022	102,001
10	Analyzing Atmospheric Pressure Variations in Time and Height: a Didactic Proposal Employing a Smartphone Barometer	2022	100
14	Changing physics instruction by synergizing Vygotskian educational theory and virtual reality	2021	92
17	A new strategy for teaching nuclear physics and radioactivity for the new high school: web application guided self-learning		91,000
18	Particle Physics in high school Part I: Quantum Electrodynamics	2021	91
19	Development of a seismograph using piezoelectric sensors in Arduino platform	2021	90,000
20	Models of Didactic Knowledge of Scientific and Technological Content in Chemistry and Physics Teachers	2020	89
21	Construction of a Model of the Solar System with Temperature Control for Visually Impaired Students	2020	87,001

**Fonte: Autoria própria (2023).**

Observa-se que os 11 artigos selecionados se encontram em diversos lugares no ranking *InOrdinatio*. No recorte de pesquisa estabelecido, se apresenta a análise sistemática dos artigos e os principais aspectos abordados nos estudos e a análise

dos trabalhos como tendências e possibilidades de aplicação ou propostas de ensino-aprendizagem dentro da Física.

O artigo com maior índice de citações e maior *Ordinatio* para esta análise é intitulado *Measuring actual learning versus feeling of learning in response to being actively engaged in the classroom*. Os autores Deslauriers, Louis, et al, (2019), apresentam um estudo com um grupo de alunos e a aprendizagem real sobre condições controladas, fazendo um comparativo entre instruções ativas e instruções passivas em cursos introdutórios de Física no nível universitário. Ambos grupos receberam conteúdo de aula e apostilas idênticas. Os alunos foram designados aleatoriamente e o instrutor não fez nenhum esforço para persuadir os alunos sobre o benefício de qualquer um dos métodos. Como resultado, verificou-se que os alunos em salas de aula ativas aprenderam mais (como seria de esperar com base em pesquisas anteriores) do que os demais. Segundo Vasconcelos; Praia; Almeida (2003, p. 14), os pressupostos de uma pedagogia ativa reconhecem e valorizam uma maior intervenção do aluno na sua aprendizagem e, assim, surge o modelo da Aprendizagem por Descoberta que tem seu estudo no construtivismo.

No seguinte artigo, o *Supporting Technology 4.0: Ethoconstructivist Multimedia for Elementary Schools*, Asria, et al, (2019), sinalizam que a educação na Indonésia é muito influenciada pela globalização e pelo desenvolvimento da tecnologia da informação e comunicação. O objetivo da pesquisa foi uma implementação de uma e-book da aprendizagem baseada em e-learning, multimídia etnoconstrutivista com módulo flip book 3D para uso de professores e alunos. Após de aplicação com alunos de forma construtivista usando o e-learning (educação com recursos computacionais e audiovisuais), os alunos ficaram mais motivados na aprendizagem.

Na sequência analisamos o trabalho *IDAS: a student-centered teaching methodology to encourage the learning of physics* dos autores Bravo, et al, (2022). Neste trabalho os autores falam dos grandes e contínuos desenvolvimentos científico-tecnológicos que caracterizam os tempos atuais. O objetivo do trabalho foi apresentar uma metodologia de ensino chamada IDAS (Iniciação, Desenvolvimento, Aplicação e Síntese), centrada no aluno e baseada na aprendizagem ativa que busca promover compreensão de conceitos, leis e teorias relacionadas à Física com auxílio nas

tecnologias digitais como simuladores para ensino da Física clássica. De acordo com o trabalho, a resolução de problemas focando nas interações “sujeito” e “objeto” e entre pessoas com diferentes repertórios possibilita zonas de desenvolvimento proximal que impulsionam a aprendizagem. (Vygotsky, 1998).

Por sua vez, os autores Abosedo O, Ayodele; Ramnarain e Umesh (2022), com o trabalho *Teaching and learning Physics using interactive simulation: A guided inquiry practice*, examinaram os resultados de aplicações do uso de tecnologia na área de simulação interativa (TSI) como uma investigação guiada. As simulações foram demonstradas aos participantes da pesquisa para explicar o conceito de forças e campos elétricos. Os participantes eram alunos de ciências Físicas da 11ª série (n = 60) e um professor de uma escola rural na África do Sul. A fundamentação teórica foi baseada no construtivismo social, cujo o conhecimento depende da capacidade do indivíduo de interagir socialmente com os outros, o que implica que a aprendizagem envolve comunicação, e isso só pode ser feito em colaboração com os outros.

Rodrigues; Arnold e Francisco, (2022) com o trabalho *Analyzing Atmospheric Pressure Variations in Time and Height: a Didactic Proposal Employing a Smartphone Barometer*, apresentam uma proposta didática para estudar a pressão atmosférica, utilizando um smartphone como barômetro para medir a pressão atmosférica. Os resultados experimentais são comparados com os fornecidos por uma estação meteorológica da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. A proposta didática foi direcionada para alunos da graduação em Física, mas não especificou o uso de uma teoria de aprendizagem para uma fundamentação na área de ensino.

O trabalho *Changing physics instruction by synergizing Vygotskian educational theory and virtual reality* de Vanderburg, Robert; Mann, Gemma; Cowling, Michael. (2021) propõe um projeto para uma simulação de Física em realidade virtual RV adotando uma abordagem Vygotskiana usando Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) como método de ensino, e permitindo que os alunos e o instrutor colaborem em RV. O conteúdo abordado foi o eletromagnetismo como um estudo de caso. Nele, os alunos seriam capazes de usar esta intervenção RV para manipular objetos físicos, cargas e visualizar campos magnéticos e cálculos numéricos.

Já Fernandez, et al, (2021), apresentam o artigo: *A new strategy for teaching nuclear physics and radioactivity for the new high school: web application guided self-learning*, com um site/aplicativo web visando um novo ensino médio que permita ao estudante a escolha de um currículo de vários tópicos na área de ciência e tecnologia. Nesse currículo também estão presentes habilidades sobre radiações/radioatividade, com a finalidade de apresentar uma proposta para o novo ensino médio, onde o ensino ocorra de forma crítica, relativamente aprofundada e não tendenciosa. Uma das finalidades dos autores foi estudar a construção dos conceitos de radiação e radioatividade e, para isso, retomou alguns conhecimentos prévios de Física moderna/contemporânea, um tema abordado, frequentemente, de maneira superficial, refletindo um pouco o construtivismo de Ausubel, mas sem aprofundar sobre a sua teoria.

No trabalho *Particle Physics in high school Part I: Quantum Electrodynamics* os autores Carvalho; Carneiro, e da Cunha (2021), mostram uma proposta de sequência didática para ensino de Física de Partículas no ensino médio, propondo uma série de discussões com relação a natureza da ciência e sua relação com a tecnologia, sociedade e meio-ambiente. Eles apresentam a primeira parte da sequência didática com foco na teoria quântica do eletromagnetismo e avaliam os indicadores de alfabetização científica e engajamentos dos estudantes de uma escola pública estadual do Espírito Santo. Alguns dos resultados revelam a presença de diversos indicadores de alfabetização científica bem como de engajamento dos estudantes. Esse engajamento escolar possui natureza multifacetada sendo fruto da complexa interação social do sujeito com o ambiente escolar no qual está inserido. Embora os autores não façam relação direta com a teoria interacionista de Vygotsky às situações que presenciam tem alguns indícios de aplicações construtivistas.

De Amorim, et al, (2021) com o trabalho intitulado *Development of a seismograph using piezoelectric sensors in Arduino platform* trazem uma discussão nas aplicações sobre as novas tecnologias integradas à vida, a profissão e ao cotidiano do aluno com o conteúdo matéria e energia; vida, Terra e cosmos; tecnologia e linguagem científica. A finalidade do trabalho é dar destaque ao potencial de articular o ensino de Física, subsidiado por projetos e práticas, com o aporte de tecnologias, onde expõem três testes experimentais sobre o sismógrafo para serem aplicados em

contextos de sala de aula. Ideias relevantes para a educação atual, mas no sentido de contextualizar com alguma teoria de aprendizagem não fica especificado no trabalho.

Salica, et al, (2020) com o trabalho, *Models of Didactic Knowledge of Scientific and Technological Content in Chemistry and Physics Teachers*, trazem uma pesquisa com professores e alunos de licenciatura em química e Física, com o objetivo de entender a interação entre o conhecimento disciplinar e o conhecimento tecnológico com base na natureza da ciência e da tecnologia, utilizando como modelo o Conhecimento Pedagógico Tecnológico do Conteúdo (TPACK) com uma abordagem holística durante o desenho de sequências de ensino e aprendizagem. Eles apontam que as investigações emitem critérios verídicos confirmando que a tecnologia proporciona um impacto positivo nos resultados de aprendizagem dos alunos. Da mesma maneira, o modelo TPACK facilita interação social e fomenta a autonomia do aluno desde o pensamento construtivista (Paredes, 2016).

Finalmente os autores Almeida, et al (2019), apresentam em *Construction of a Model of the Solar System with Temperature Control for Visually Impaired Students*, um estudo para o desenvolvimento de um conjunto didático fundamentado na utilização de receptores térmicos para o ensino de astronomia. O objetivo era mostrar experimentos capazes de apresentar de uma forma mais dinâmica os conceitos envolvidos no ensino de astronomia para pessoas com deficiência visual. Para o desenvolvimento do projeto, eles utilizaram o Arduino junto com sensores para simular as temperaturas dos planetas. Apesar do trabalho mostrar-se interessante, observa-se carência na implementação didática com relação as teorias de aprendizagem.

#### 5.1.4 Discussões das descobertas

Com esta revisão sistemática dos artigos foi possível conhecer o cenário de pesquisas que abordam a utilização de algumas ferramentas de tecnologia educacional nos processos de ensino-aprendizagem na Física, tendo também em consideração algumas teorias construtivistas. Foi possível, identificar tendências de

pesquisa nos últimos anos, delineando um panorama e possibilidades para futuras pesquisa que possam abordar este tipo de temáticas.

A partir dos trabalhos analisados, podemos fazer uma revisão da abordagem na utilização do construtivismo e como está sendo presente nas diversas formas e técnicas que englobam a utilização de tecnologia educacional. No contexto do ensino de Física, buscamos compreender como tem sido as propostas a integração da prática pedagógica nos últimos anos. Para ter uma visão detalhada, apresenta-se uma tabela mostrando o uso do construtivismo junto as tecnologias utilizadas nas pesquisas.

**Quadro 3 – Presença do construtivismo com ferramentas tecnológica para o ensino nos artigos analisados.**

<b>Nº do artigo no ranking</b>	<b>Indícios de teoria construtivista</b>	<b>Utilização de Ferramentas de tecnologia educacional</b>	<b>Outros</b>
<b>1</b>	- Aprendizagem por Descoberta	Não específica	Estudo comparativo - Pesquisa nos cursos introdutórios de Física Universitária
<b>5</b>	Não específica	Implementação de uma e-book - módulo flip book 3D	Usa teoria construtivista, mas não faz referência a qual delas.
<b>6</b>	- Aprendizagem ativa de Zonas de desenvolvimento proximal	Simuladores para ensino da Física clássica	Não específica
<b>8</b>	- Construtivismo social	Simulação interativa (TSI)	Não específica
<b>10</b>	Não específica	Simulador com telefone, Arduino	Proposta didática para alunos da graduação em Física
<b>14</b>	- Zona de Desenvolvimento Proximal	Intervenção Realidade Virtual RV	Não específica
<b>17</b>	- Conhecimentos prévios	Site/aplicativo web	Não específica
<b>18</b>	- Interação social do sujeito com o ambiente	Sequência didática – Simuladores	Não específica
<b>19</b>	Não específica	Plataforma de Arduino	Fala de teoria de aprendizagem, mas não especifica quais.
<b>20</b>	- Interação social - Autonomia do aluno	Não específica	Modelo o Conhecimento Pedagógico Tecnológico do Conteúdo

21	Não especifica	Plataforma de Arduino	Fala de teoria de aprendizagem, mas não especifica quais.
----	----------------	-----------------------	---

**Fonte: A autoria própria (2023)**

Podemos observar que nem todos os artigos apresentados para esta análise deixam em evidência a abordagem sobre a teoria construtivista utilizada. Alguns “não especificam” -nenhuma teoria, porém, não é que esteja em falta de fundamento didático-pedagógico, eles usam teorias de aprendizagem sem fazer uma referência pontual e sem realizar um aprofundamento em alguma visão teórica que possa ser melhor discutida nas pesquisas.

Por outro lado, percebe-se que o enfoque mais citado nos artigos é o construtivismo social, interações sociais, e Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Lev Vygotsky (1998), sendo considerado um dos principais teóricos do construtivismo também chamado de socio-construtivismo. Ele afirma que o desenvolvimento cognitivo deve ser considerado a partir do “desenvolvimento próximo” ou seja, do meio sociocultural dos educandos. Assim, os processos de aprendizagem são condicionados pela cultura e pela sociedade em que o aprendiz nasce e se desenvolve. Portanto, não é o mesmo um processo de acesso ao conhecimento de um latino-americano do que um japonês, por razões da cultura em que se desenvolvem.

Nesse sentido, as práticas de ensino estão sendo influenciadas pela evolução das estratégias didáticas e pelo uso de tecnologias digitais. Enquanto algumas aulas tradicionais podem se tornar obsoletas, a incorporação dessas tecnologias pode revitalizar o processo de ensino-aprendizagem, proporcionando uma alternativa viável para fortalecer a educação.

Com relação as ferramentas de tecnologias educacionais, existem diversos métodos e técnicas de ensino que podem ser aplicadas em sala de aula incorporando tecnologias tais como; simuladores, plataformas virtuais, equipamentos eletrônicos. Pode-se, por exemplo, fazer uso dessas ferramentas em estratégias didáticas fundamentadas em teorias pedagógicas fortalecendo os processos de ensino-aprendizagem, onde se busca identificar como convergem para fornecer uma melhor base pedagógica para o ensino de Física.

### 5.1.5 Terceira revisão bibliográfica e uma análise crítica de pesquisas sobre o uso da RVI no ensino de Física Moderna.

Para o desenvolvimento de esta revisão de literatura, optou-se por realizar a análise com base no protocolo PRISMA 2020, em inglês, Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (Page et al, 2021). Seguimos as etapas sugeridas na metodologia, fazendo uma busca de artigos publicados com relação ao ensino de Física utilizando RVI como ferramenta de mediação. Definiu-se então as palavras chaves com um total de 04 combinações como se mostra na tabela 1 traduzidas ao inglês para obter resultados mais abrangentes.

**Quadro 4 - Seleção de palavras-chaves**

<b>COMBINAÇÕES DE PALAVRAS-CHAVE</b>	
1	"virtual reality" AND "physics teaching" AND "virtual reality teaching"
2	"Virtual Reality" AND physic
3	"physics teaching" AND "virtual reality"
4	"Virtual Reality" AND teaching AND mediation"

**Fonte: Autoria própria (2025)**

Uma vez definidas as palavras-chave, foi realizada uma busca em 03 bases de dados, a saber, Scopus, Science Direc, Web of Science. Estas bases foram escolhidas pelo maior índice de trabalhos publicados de alcance nacional e mundial. Posteriormente, os dados foram filtrados no Mendelay<sup>24</sup> para exclusão de artigos duplicados. É importante mencionar neste ponto que os termos foram pesquisados nos títulos e resumos dos trabalhos.

A análise iniciou-se com a busca de artigos em relação às palavras-chave inseridas nas bases de dados, que teve um resultado parcial de 192 artigos, após uma primeira filtragem nas bases como se mostra na tabela1.

<sup>24</sup> O Mendeley é um software gratuito, desenvolvido pela empresa Elsevier, disponibilizados aos usuários para gerenciar, compartilhar, ler, anotar e editar artigos científicos (MORAES, 2018).

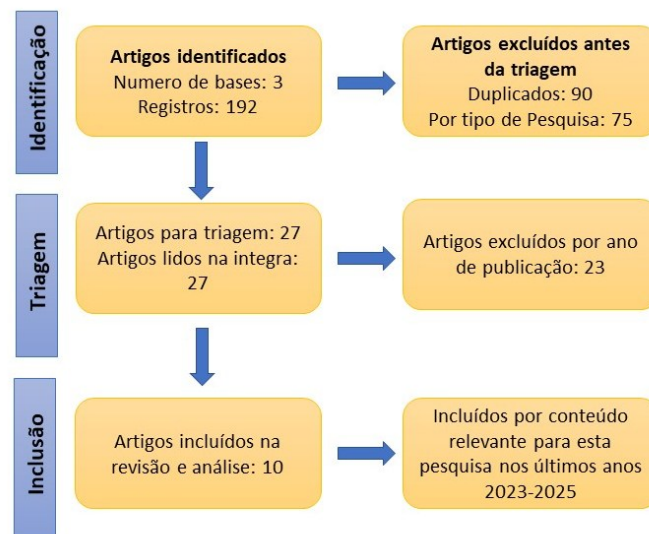
Tabela 8 - Busca nas bases de dados e resultados

	COMBINAÇÕES DE PALAVRAS-CHAVE	A SCOPUS	B SCIENCE DIREC	C WEB OF SCIENCE	TOTAL RESULTADOS
1	“virtual reality” AND “physics teaching” AND “virtual reality teaching”	21 artigos	6 artigos	4 artigos	26
2	“Virtual Reality” AND physic	4 artigos	10 artigos	31 artigos	45
3	“physics teaching” AND “virtual reality”	16 artigos	12 artigos	18 artigos	46
4	"Virtual Reality" AND teaching AND mediation”	25 artigos	19 artigos	31 artigos	75
<b>Total</b>					192

Fonte: Autoria própria (2025)

Posteriormente, foi verificado no gerenciador Mendelay os artigos duplicados excluídos, gerando um total de 90 artigos. Seguidamente foi realizada uma leitura no título e resumo com a finalidade de revisar se os trabalhos pertenciam na área de ensino de ciências e ensino de Física, sendo excluídos 75 artigos referentes aos tipos de pesquisa, sendo os trabalhos selecionados os que faziam abordagem direto com o tema desta pesquisa realidade virtual no ensino de Física Moderna. O total de artigos para leitura completa 27 sendo selecionada as pesquisas mais recentes desde 2023 até 2025. Ao final, 10 artigos foram incluídos na revisão por atenderem aos critérios de relevância para o tema proposto como se indica na figura 1.

Figura 12 - Diagrama PRISMA da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2025)

### 5.1.6 Análise crítica dos artigos selecionados

A análise desses trabalhos permitiu identificar diversas abordagens sobre o uso da RVI no ensino de Física, e mais específico na Física Moderna, no contexto de Educação Básica, até no Ensino Superior. A Tabela a seguir sintetiza os principais dados dos artigos incluídos, organizando informações como autores, ano de publicação, título, objetivo da pesquisa, metodologia utilizada, principais resultados obtidos, conclusões e as revistas onde o artigo foi indexado. Essa sistematização facilita a comparação entre os estudos e contribui para a compreensão das tendências e lacunas existentes na literatura atual sobre o tema.

**Quadro 5 - Artigos analisados na revisão sistemática**

Autor(es)	Ano	Título do artigo	Objetivo	Metodologia	Principais resultados	Conclusão	Revistas
Mufit, Dhanil, Hendriyani	2025	Development of Quantum Physics Laboratory Based on Immersive Virtual Reality	Desenvolver um laboratório de Física quântica baseado em RV para simular fenômenos abstratos	Design e desenvolvimento de simulação com testes de validade e praticidade	Validade e praticidade de 92,25%. Auxilia na compreensão de conceitos abstratos	A RV é eficaz no apoio ao ensino de Física quântica	JOIV – Int. Journal on Informatics Visualization
Rizal, Ridwan, Suhendi, Mahmudah	2025	Student's Readiness in Using Virtual Reality for Physics Learning	Avaliar o nível de prontidão dos alunos para uso de RV no ensino de Física	Questionário-pesquisa com 127 estudantes, análise estatística	Nível de prontidão dos alunos intermediária. Falta de habilidades e técnicas	É necessário preparar os alunos tecnicamente para o uso efetivo da RV	Journal of Teaching and Learning
Stracke et al.	2025	Realidade virtual imersiva no ensino superior: uma revisão sistemática da	Revisão de literatura sobre o uso da RVI no Ensino Superior	Revisão sistemática com análise de 50 artigos da base de dados Web of Science	Falta de padronização e forte evidências empíricas nos estudos existentes	Necessária maior estruturação e aprofundamento das pesquisas em RVI no ensino Superior	Virtual Reality (Springer)

		literatura científica					
Tao, Wang, Fan	2024	Visual learning analysis of physical virtual simulation experiments	Melhorar o ensino de Física experimental com análise de aprendizagem em visual	Plataforma de simulação baseada em dados heterogêneos e avaliação visual	Alta taxa de conclusão de atividades e análise eficiente de desempenho estudantil	Plataformas visuais otimizam o ensino experimental em Física	Applied Mathematics and Nonlinear Sciences
Durán, A. et al.	2024	Uma análise crítica de pesquisas sobre o uso da realidade virtual no ensino de Física	Analisar criticamente e publicações sobre RV no ensino de Física moderna	Revisão sistemática em bases como Scopus, Web of Science, Science Direct e Scielo	Apenas 12 artigos abordam RV em Física moderna; há lacunas pedagógicas	Mais pesquisas são necessárias; RV tem potencial que está pouco explorado	ENCITEC
Porto et al.	2024	Uso da Realidade Virtual para uma Aprendizagem Imersiva: Uma Revisão Sistemática	Revisar o uso da RV na aprendizagem em imersiva	Revisão sistemática bibliométrica na base Web of Science	Crescimento de estudos, mas baixa representatividade sul-americana	A RV tem alto potencial, mas necessita mais apoio à pesquisa local	Parcerias Digitais (Colégio Pedro II)
Oliveira. Diaz, Magalhães	2024	A realidade virtual no ensino de Física: um estudo bibliográfico	Analisar a produção científica sobre o uso da RV no ensino de Física	Revisão bibliográfica com análise de conteúdo segundo Bardin, com buscas em periódicos Qualis e na BDTD	Predomínio de estudos voltados à Física Clássica; apenas um abordando Física Moderna	Há lacunas na aplicação da RV em conteúdos complexos e necessidade de mais pesquisas nessa área	Revista do Professor de Física

Souza, Barros, Farias	2023	A realidade virtual como ferramenta pedagógica no ensino de Física	Avaliar o uso da RV como ferramenta pedagógica de baixo custo no ensino de Física	Abordagem qualitativa e quantitativa com uso de óculos de RV em sala de aula	Mudança na dinâmica das aulas e maior engajamento dos alunos	A RV é eficaz para tornar as aulas mais interativas e atrativas	Brazilian Journal of Development
Tarng, Pei	2023	Application of Virtual Reality in Learning Quantum Mechanics	Investigar o impacto da RV na aprendizagem de mecânica quântica	Experimento com grupo controle e experimental (com total de 60 estudantes)	Maior motivação, satisfação e compreensão no grupo que utilizou a RV	A RV é eficaz para visualizar conceitos quânticos abstratos	Applied Sciences (MDPI)
Matovu et al.	2023	Immersive virtual reality for science learning: Design, implementation, and evaluation	Revisar como a RVI tem sido usada em projetos de ensino de ciências	Revisão de 64 estudos entre 2016 e 2020	Alta motivação e engajamento, mas resultados mistos na aprendizagem	O design imersivo deve ser melhor alinhado com teorias e avaliações	Studies in Science Education (Taylor & Francis)

Fonte: Autoria própria (2025)

A análise sistemática dos artigos selecionados por meio do protocolo PRISMA permitiu conhecer como está sendo utilizada a RVI no ensino de Física. Como um resultado em destaque, se evidenciou uma crescente valorização dessa tecnologia como recurso didático no ensino de ciências, e especialmente na Física. Estudos como os de Mufit et al. (2024) e Tarng e Pei (2023) destacam o potencial da RVI para a visualização de fenômenos abstratos da Física Quântica, como a radiação de corpo negro e a estrutura atômica.

Essas produções corroboram diretamente com o objetivo deste trabalho, que busca compreender como a RVI pode atuar como um instrumento de mediação pedagógica-tecnológica, favorecendo o aprendizado de conceitos que, pela sua natureza, são de difícil acesso por meios tradicionais. A construção de ambientes simulados em Unity e Blender, conforme relatado por Mufit et al, (2025) e Tarng e Pei, (2023) em seus artigos, demonstra também a viabilidade técnica para desenvolvimentos de simulações RVI.

Além disso, os estudos de Rizal et al, (2025), Stracke et al. (2025) chamam atenção para aspectos estruturantes da mediação: o preparo dos estudantes e professores, a infraestrutura tecnológica disponível e a ausência de metodologias padronizadas para a aplicação da RVI na prática educativa. Essas questões se alinham com os desafios mencionados neste artigo, como a necessidade de formação docente e a viabilidade de implementação da RVI no contexto educativo. A presença da mediação, conforme propõe a teoria de Vygotsky, exige que haja intencionalidade didática e suporte adequado, condições que nem sempre estão presentes nas instituições de ensino, conforme evidenciado na literatura. Os artigos também revelam que há predominância de estudos voltados à Física Clássica, reforçando a lacuna existente no uso da RVI aplicada à Física Moderna, sendo o foco deste trabalho.

Seguidamente, observa-se que, mesmo nas experiências em que a RVI foi adotada com sucesso, como relatado por Matovu et al. (2023) e Souza et al. (2023), os benefícios mais significativos estiveram relacionados ao engajamento, motivação e imersão dos estudantes, embora as vezes com mesmos resultados significativos em termos de aprendizagem conceitual. Essa constatação reforça a importância de desenvolver estratégias pedagógicas intencionais, que aproveitem as potencialidades da RVI como suporte à mediação na ZDP. Assim, o presente estudo, ao articular as contribuições da teoria Vygotskiana com as possibilidades da RVI no ensino da Física Moderna, pretende avançar não apenas na exploração tecnológica, mas também na construção de fundamentos didáticos sólidos para a sua aplicação educativa.

De igual maneira, três dos estudos analisados nesta revisão sistemática evidenciam lacunas significativas na produção científica sobre o uso da realidade virtual no ensino de Física, especialmente no que se refere à Física Moderna. Num trabalho da mesma autoria, Durán et al. (2024) realiza uma análise crítica da literatura identificando apenas 12 publicações voltadas ao uso da RV nesse campo de ensino de Física. Além disso, os autores destacam a ausência de abordagens pedagógicas consistentes nos estudos analisados, apontando para a necessidade urgente de pesquisas que não apenas explorem o uso da tecnologia, mas que também se sustentem em uma teoria pedagógica e o desenvolvimento de recursos didáticos consistentes e acessíveis.

Corroborando esse panorama, a revisão sistemática de Porto et al. (2024), de caráter bibliométrico, revela um crescimento global das investigações sobre a realidade virtual na Educação, mas alerta para a baixa representatividade da produção sul-americana, especialmente no contexto da educação básica. De igual forma, Oliveira, Dias e Magalhães (2024) reforça as limitações identificadas por outras revisões sistemáticas ao investigar a produção científica brasileira sobre o uso da Realidade Virtual no ensino de Física.

A partir de uma análise de conteúdo fundamentada em Bardin (1977), os autores identificaram que a maioria dos trabalhos se concentra em tópicos da Física Clássica, como cinemática e dinâmica, sendo raros os estudos que abordam conteúdo da Física Moderna. Os estudos de Porto e Oliveira, Dias e Magalhães, reforçam a pertinência da presente investigação, que busca justamente superar essas lacunas ao propor a RVI como ferramenta mediadora no ensino da Física Moderna, com base na mediação pedagógica e nas teorias do desenvolvimento humano.

## **5.2 Fase II – Desenvolvimento.**

Dentro das inúmeras alternativas que se tem sobre as ferramentas tecnológicas como plataformas interativas; softwares livres para criar aplicativos; entre outros. O posicionamento da ação docente na escolha da ferramenta tecnológica é fundamental para se apropriar e incorporar à sua prática. Além de avaliar como essas tecnologias podem ser aproveitadas em sala de aula. Para isso, deve-se considerar as vantagens e desvantagens que a incorporação da tecnologia pode trazer para o professor e seus alunos.

Nesse sentido, não se trata de ignorar as dificuldades que já existem ou que possam eventualmente surgir no processo didático de uma proposta educacional, muito menos de criar uma relação de dependência com as ferramentas tecnológicas. Mas que elas possam fazer parte de uma alternativa que ajude na compreensão dos fenômenos físicos, onde o objetivo seja facilitar as experiências didáticas de maneira pedagógica e crítica.

Esta etapa da pesquisa é do tipo experimental, a qual, segundo Gil, (2010), consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam

capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Dessa maneira, o foco no objeto é o ensino da Física Moderna, passando pela criação de um produto educacional até os resultados.

Esta fase inicia-se com a seleção dos recursos de tecnologias para a criação da simulação de RVI. Para isso realizamos uma busca em livros sobre realidade virtual no Google Scholar, sites, plataformas sobre criação de realidade virtual, plataformas de desenvolvimentos de projetos e finalmente nos artigos discutidos na fase de revisão bibliográfica.

Alinhado à ideia de desenvolver um produto didático que seja uma alternativa de mediação Pedagógico-Tecnológica para ser utilizado tanto pelos professores e alunos na compreensão de fenômenos Físicos, especialmente da Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico. Dessa forma, originou-se a ideia de construir uma simulação do experimento de Phillip Lenard com as ideias do experimento de difração de Thomas Young para ser visualizado, estudado e executado no ambiente de RVI. Trata-se de uma alternativa diferente de outros simuladores como exemplo simulações em 2D, que ainda é um dos mais utilizados sobre esse tema. Uma delas, em 2D, criadas por *PhET Interactive Simulations*<sup>25</sup> em que apresentam simulações sobre Difração da luz e Efeito Fotoelétrico. Também é possível encontrar outras simulações desenvolvidas por outras instituições de ensino, entre outros.

Nessa visão, pensou-se em uma série de características que são importantes ao momento de selecionar as ferramentas para o desenvolvimento do produto. Sendo elas:

1. Uma plataforma que permita as interações em 3D. Em que a imersão seja levada a simular virtualmente o mais próximo do mundo “real-físico”.
2. Interação ambiente-experimento, onde o usuário possa ter essa oportunidade de interagir com os objetos no cenário.
3. Interatividade, onde os usuários da simulação possam viver uma experiência imersiva mais próxima da realidade.
4. Recurso de imersão, para visar uma interação virtual, ambiente-cenário-usuário

---

25

[https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR)

5. Utilização de hardware adequados como óculos como por exemplo os criados pela empresa Meta (*Meta Quest 2* ou 3).
6. Licenças gratuitas de desenvolvedor e que possam disponibilizar acesso livre.

Segundo Tori; Hounsell, (2018); Lavallo, (2020), entre as ferramentas mais comuns estão o Unity<sup>26</sup> e Unreal Engine<sup>27</sup>, ambas poderosas engines de jogo e simulações que suportam uma ampla variedade de plataformas significando que um mesmo jogo o simulação pode ser desenvolvido uma única vez e depois podem ser executados em diferentes tipos de dispositivos como celulares, tablets, computadores e óculos; e sistemas como: Windows, macOS, Linux. Android, iOS e consoles de videogames, onde será possível interagir em vários ambientes.

Além dessas ferramentas mencionadas, tem-se o A-Frame e o CryEngine. O A-Frame é uma estrutura web popular para construção de experiências virtuais no navegador, enquanto o CryEngine destaca-se pelos gráficos de alta qualidade. Também são necessárias as ferramentas de modelagem 3D, como Blender<sup>28</sup>, 3ds Max, inventor, fursion 3D, entre outros, todos esses utilizados na criação de modelos e animações.

Também são importantes os Kits de desenvolvimento específicos (hardware) como: óculos SDK e Steam RV, que fornecem recursos para dispositivos óculos Rift, HTC Vive, óculos Quest, entre outros. Essa variedade de ferramentas permite aos desenvolvedores explorar e criar ambientes imersivos de alta qualidade para uma gama diversificada de plataformas e dispositivos.

Baseado nessa revisão, optou-se pelo software Unity como plataforma de desenvolvimento para esta pesquisa, levando em consideração as razões que respaldam sua relevância e eficácia no campo da RVI. O motivo dessa escolha deve-se à sua ampla aceitação na indústria, licença gratuita e versatilidade na criação de experiências. Além disso, possui uma comunidade ativa, vastos recursos de aprendizado e suporte nativo para recursos de RVI, como rastreamento de movimento

---

<sup>26</sup><https://unity.com/pricing>

<sup>27</sup> <https://www.unrealengine.com/en-US>

<sup>28</sup><https://www.blender.org/>

e renderização estereoscópica, fundamentais para satisfazer a complexidade do experimento a ser desenvolvido.

### 5.2.1 Desenvolvedor da Unity

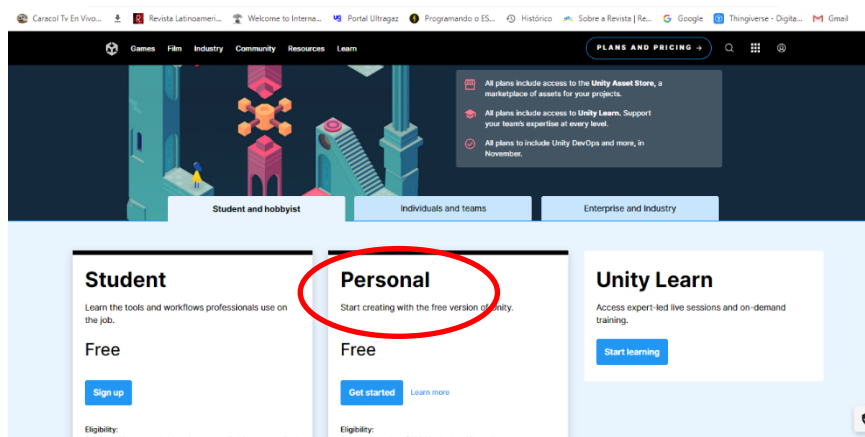
A Unity é um motor de jogo que acompanha uma ferramenta de desenvolvimento gerenciado pela Unity Technologies, uma empresa fundada em 2004 na Dinamarca e com sede em 2020 em San Francisco, Califórnia, USA. É uma suíte completa para o desenvolvimento de jogos, além de tecnologia de renderização em tempo real, como efeitos de filmes, animações e realidade virtual. É atualmente utilizada na indústria para o desenvolvimento de pequenos e grandes jogos, sendo interessante citar: Hearthstone, Pillars of Eternity, Ori and the Blind Forest, Fall Guys: Ultimate Knockout, Mario Kart Tour e Among Us, que, em 2020 ultrapassou a marca de 100 milhões de downloads (Anderson, 2020).

O principal foco da Unity é a facilidade no desenvolvimento e na exportação para as mais diversas plataformas sem a necessidade de se realizar algum tipo de adequação. Isso se torna evidente com as facilidades que a ferramenta fornece, como visualizar em tempo real o estado do jogo, testar ele na própria ferramenta ao apertar um botão e movimentar os objetos do mapa utilizando apenas o mouse. Como linguagem para o desenvolvimento com seu motor, a Unity suporta tanto JavaScript, quanto C# (Gregory, 2014).

Unity é um software para desenvolvimento de jogos e simulações com grande qualidade. Os seus diferenciais em relação aos seus concorrentes são: a simplicidade de utilização de suas ferramentas, a possibilidade da utilização da versão gratuita; a permissão para comercialização dos jogos mesmo utilizando a versão gratuita. Por conta destes três motivos, existe uma grande quantidade de jogos de criação independente. Existem três tipos de licenças para trabalhar com Unity: Pessoal, Plus e Pro, e cada uma delas possui determinado tipo de suporte da empresa.

Na seguinte figura 13, podemos observar uma captura de tela do site da Unity. Nessa tela aparecem as opções de utilização, seja 'Student' ou 'Personal', ambas são de acesso e descarga livre.

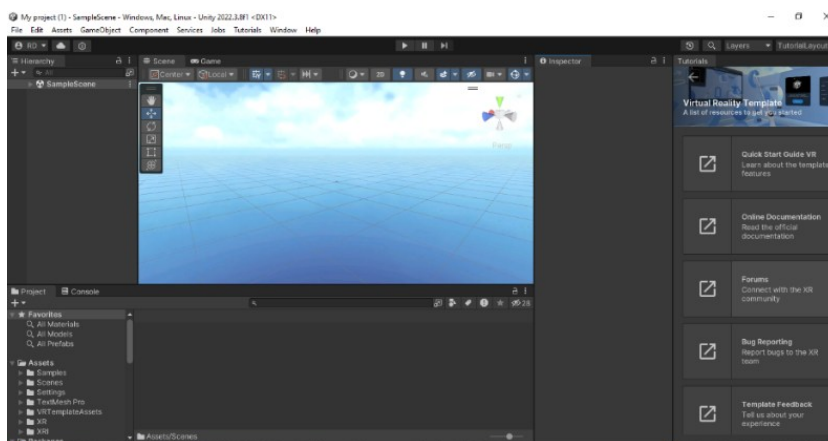
**Figura 13 - Aba de escolha para instalação na Unity**



Fonte: <https://unity.com/pricing>, (2023).

Para a execução e desenvolvimento do produto nesta pesquisa, optou-se pela licença 'Personal', que é destinada àqueles que estão começando a desenvolver um jogo/simulação em Unity. Também inclui script prontos para os desenvolvimentos dos projetos em 2D ou 3D, com suporte para simulação de RVI com editor que permite a criação destes a partir de zero. Este editor permite esculpir a geometria da terra, sua textura e a inclusão de elementos 3D importados de aplicativos 3D ou já predefinidos na unidade, propiciando criar os cenários que se desejam. Na figura 14 vemos a interface inicial, uma vez selecionado o projeto em RVI.

**Figura 14 – Interfase inicial na Unity.**



Fonte: Unity versão 2022.3.8f1 (2023)

Para o desenvolvimento da simulação proposta nesta pesquisa na plataforma Unity, cada objeto (equipamento de laboratório) foi modelado no Blender, ferramenta de modelagem 3D para desenvolvedores que priorizam a criação de ativos 3D

personalizados. Foi essencial considerar como uns dos objetivos da tese a criação de uma simulação que relacione a Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico estudados na Física Moderna, como também as especificidades do hardware de RVI para tomar a decisão mais adequada ao criar experiências de realidade virtual de alta qualidade e desempenho.

### 5.2.2 Modelagem no Blender

O Blender surgiu em 1998, inicialmente como um programa comercial. Em 2002, tornou-se um programa de licença aberta. Esta ferramenta digital permite construir e gerir conteúdo de representação 3D, sendo adequada para construir e visualizar, por exemplo, formas geométricas. A abrangência do software vai além de representações geométricas e o autor aponta sua utilização em áreas como: arqueologia, arquitetura, cinema, desporto, educação, engenharia, jogos, publicidade, realidade virtual e saúde. (Brito, 2010).

O software dispõe de um editor 3D que permite desenvolver cenas e objetos, alterar as propriedades (cores, dimensões, rotação), importar arquivos, criar textos 3D, além de outras possibilidades de edição. Funciona como uma ferramenta de modelagem para propósitos gerais como a criação de maquetes, ambientes internos, humanoides e objetos mecânicos. Produz animações das mais simples como rotação e deslocamento. Também é capaz de animar a articulação de personagens e simular fluidos, tecidos e uma diversidade de materiais.

Para garantir uma boa modelagem, o Blender trabalha com a engine de renderização<sup>29</sup> padrão, a qual permaneceu praticamente inalterada desde o seu lançamento, recebendo apenas ajustes e pequenas adições ao longo do tempo. Sua abordagem focada na velocidade de renderização envolve a simplificação de efeitos gráficos, como reflexos de luz, usando atalhos para simulações mais realistas. Em muitos casos ela é ideal para se trabalhar devido a sua velocidade e simplicidade,

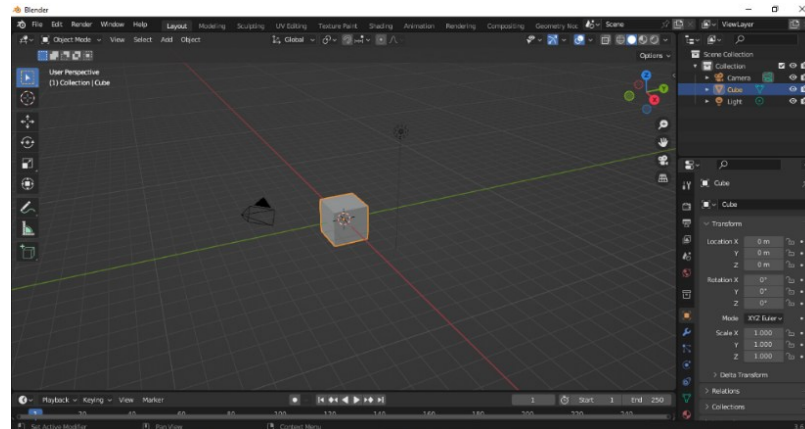
---

<sup>29</sup>Renderização 3D é o processo de criar uma imagem fotorrealista em 2D a partir de modelos em 3D. Renderizar é a etapa final do processo de visualização 3D, que envolve criar modelos de objetos, texturizá-los e adicionar iluminação à cena.

principalmente em ambientes de trabalho com computadores menos potentes. (Gumster, 2011).

A interface inicial do Blender possui uma Splash Screen (interface de abertura), na qual estão disponíveis a versão do software, que, neste trabalho, é o Blender 4.0<sup>30</sup>. Inicialmente, quando o programa é aberto aparecem três objetos: um cubo com margens, uma câmera e uma lâmpada. O programa apresenta por definição quatro painéis principais, sendo eles: 3D View, Outliner, Propriedades e Timeline, como é possível ver Figura 15.

**Figura 15 - Tela inicial da modelagem 3D Blender**



**Fonte: Blender 4.0 (2023).**

Na barra de ferramentas, se encontram painéis com um papel específico na criação e manipulação de elementos 3D. O painel 3D View serve como o principal espaço de trabalho, permitindo a interação tridimensional com objetos modelados. A guia Outliner, localizada na parte superior direita, oferece uma representação hierárquica de todos os objetos presentes na visualização 3D, facilitando a organização da cena.

O painel Propriedades posicionado na parte inferior direita, centraliza o controle sobre as características do objeto selecionado, abrangendo desde câmeras e luzes até sólidos, além de configurar atributos relacionados à renderização e cena. Além desses, a Toolbar, uma barra de ferramentas dinâmica, oferece acesso rápido

<sup>30</sup><https://www.blender.org/download/>

a diversas ferramentas e comandos relevantes, adaptando-se de acordo com o modo de edição ou a tarefa em execução.

### 5.2.3 Simulação RVI para o ensino-aprendizagem da Dualidade Onda Partícula/Efeito Fotoelétrico

Um dos objetivos da tese foi desenvolver uma simulação de RVI como instrumento de Mediação Pedagógico-Tecnológica para os processos de ensino-aprendizagem da Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico (ver Apêndice D). De acordo com Beckmann, (2021), é possível definir um produto educacional que tenha uma sequência didática com à finalidade de obter um recurso que possa ajudar nos processos cognitivos de aprendizagem.

Assim, pensou-se em uma simulação imersiva 3D com a finalidade de mostrar dois experimentos sobre o comportamento da luz, onde o aluno possa entrar no ambiente virtual e conseguir melhorar a sua compreensão com relação ao fenômeno em estudo. Dessa maneira, foram criadas estratégias pedagógicas controladas, observando desde a posição como “técnico de laboratório” trazendo os conhecimentos de experimentos reais, que nem todas instituições de ensino teriam acesso. Outro aspecto estratégico cuida da parte de abstração simbólica na representação do fenômeno da dualidade da luz.

A partir desta base considerou-se algumas características como: a aderência aos objetivos de ensino; a conformidade com padrões educacionais; visão de mediação; avaliação do aprendizado; adequação ao público-alvo. Com atenção a esses requisitos apresenta-se uma estrutura com os padrões de desenvolvimento de uma simulação, definiu-se os seguintes passos:

- a) **Seleção de tecnologia e plataformas:** A escolha das tecnologias de RVI que melhor se adequaram aos objetivos de representação dos fenômenos e experiências, foi selecionado o Blender para modelagem 3D de cada objeto que representa o laboratório desenhado. O Unity como plataforma para desenvolver a simulação imersiva, junto a utilização dos Óculos Quest 2 da *Meta Quest* com o sistema operacional Android para as interações virtuais.

- b) **Design da simulação:** Iniciou-se revisando os aspectos visuais e interativos de experimentos reais para serem incluídos na simulação com a ideia de representar os modelos físicos de maneira dinâmica, com a visão de melhorar a compreensão dos fenômenos da Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico, com intento da simulação de RVI como instrumento mediador para reforçar os níveis dos processos mentais superiores nos alunos, baseado na realidade física fidedigna imersivamente.

A simulação foi planejada para acontecer em dois momentos, sendo: o Momento A uma experiência sobre os processos teórico-práticos de Thomas Young, no qual proporciona as imersões na teoria ondulatória da luz, sobretudo com seu princípio de interferência. Para esta parte da simulação, utilizou-se uma lâmpada de mercúrio onde o aluno evidencia a difração da luz, os comprimentos de onda da luz, conforme faz a rotação do ângulo do anteparo, mostrando a frequência de cada comprimento de onda ou faixa dessa onda.

Foi simulado o processo de difração da luz elaborado com referência ao kit experimental criado pela empresa *PHYWE Systeme*<sup>31</sup>. Para ter-se acesso ao Kit mencionado, visitou-se o laboratório de Física Moderna da Universidade Tecnológica federal do Paraná - Campus Curitiba. O equipamento de referência está representado na figura 16. Os equipamentos observados para servirem de modelo para a modelagem 3D, no Blender, para a simulação em RVI foram os seguintes: Grade de difração 600 linhas/mm, fenda ajustável, porta diafragma na haste, suporte de lente, lente com foco  $f = +100\text{mm}$ , base de suporte onde estão todos os objetos e lâmpada de mercúrio.

---

<sup>31</sup><https://www.phywe.com/physics/modern-physics/>

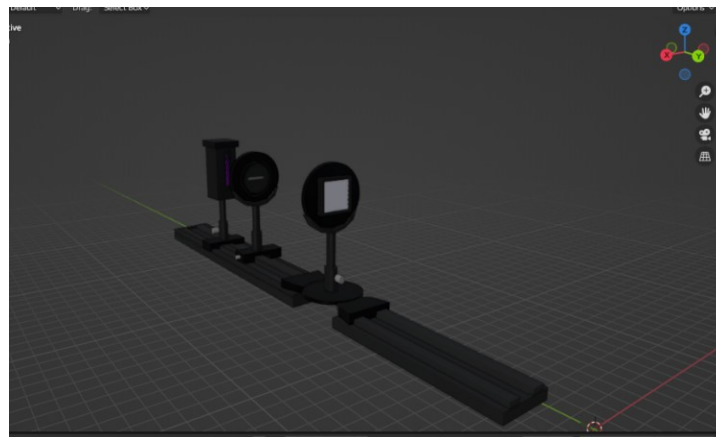
**Figura 16 - Processo de seleção de comprimento de onda com espectrômetro e rede de difração**



Fonte: Laboratório de Física Moderna- UTFPR Campus Curitiba (2023)

Foram modelados os objetos 3D com a ideia de se aproximar-se do equipamento real. Como indica a figura 17 onde se representa a base onde estão colocadas a lâmpada de mercúrio, fenda, lente e rede de difração.

**Figura 17 – Base dos objetos, fenda, e lâmpada experimental.**

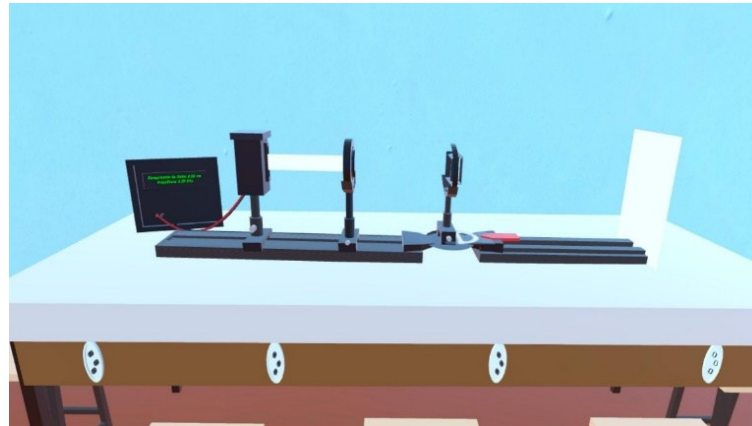


Fonte: Autoria própria (2023)

Com os objetos modelados, foram exportados do Blender para o ambiente criado para a simulação RVI na Unity, sendo incorporados com o objetivo de recriar a simulação de difração de uma lâmpada de mercúrio sendo visualizada no anteparo com a difração de primeira ordem ( $m = 1$ ), como se mostra na figura 18. O objetivo da simulação é conhecer os comprimentos de onda da lâmpada de mercúrio, seus ângulos e a frequência de cada onda, considerando a equação:

$$d \operatorname{sen}\theta = m\lambda \dots \text{(Equação de Difração)}$$

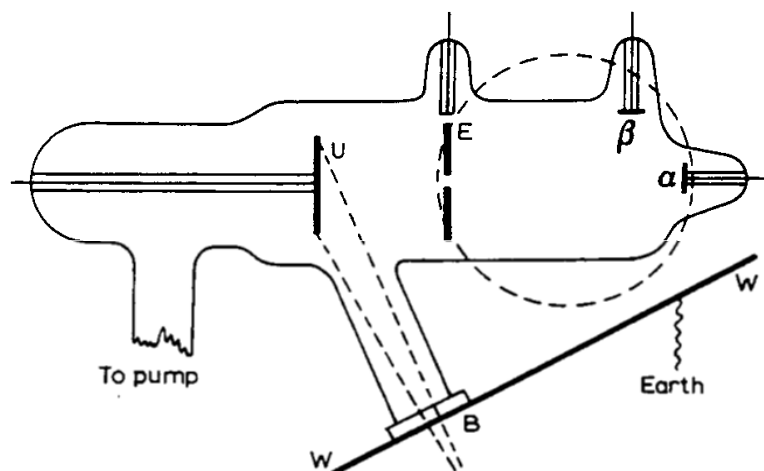
**Figura 18 - Visualização dos equipamentos do Momento A**



Fonte: Autoria própria (2025)

Na continuidade da simulação foi planejado o segundo momento, o Momento B: No qual tem-se a simulação do Efeito Fotoelétrico. De maneira que o aluno utilize o estudo de difração da primeira experiência (valores de comprimento de onda e frequência), aplicando-os ao arranjo experimental onde se tem duas placas de metal no vácuo, conforme as ideias do experimento de Philipp Lenard como se representa na figura 19. Usando os valores de comprimento e frequência, substituindo a posição do anteparo do primeiro experimento, pelas placas de metal no vácuo. Dessa forma, o usuário mudará algumas variáveis como tipo de metal das placas, alterando a diferença de potencial entre as placas e intensidade da luz.

**Figura 19 - Aparato experimental por Lenard para o estudo do Efeito Fotoelétrico.**



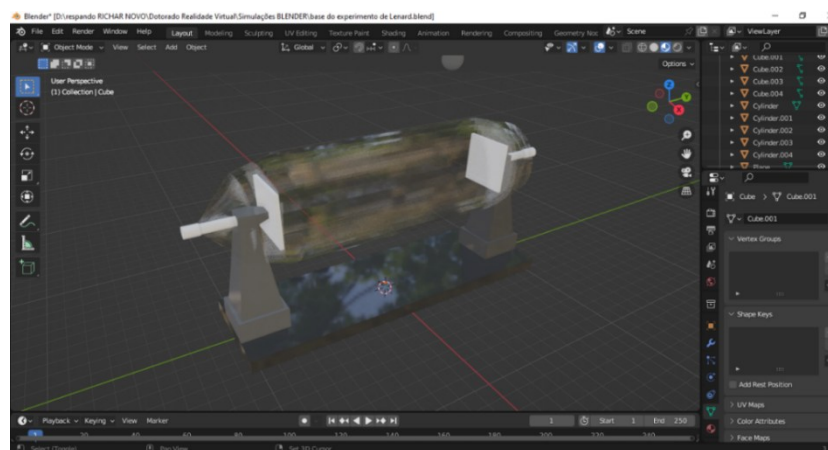
Fonte: Philipp Lenard (1906, p.122)

De acordo com as observações experimentais de Lenard, na simulação RVI são estabelecidas as seguintes regularidades para o Efeito Fotoelétrico:

- Para cada metal existe um limite ou limiar de frequência mínima de luz  $\nu_0$  abaixo do qual o efeito não é observado.
- Mesmo com uma diferença de potencial oposta (o ânodo com carga negativa) pode-se observar o aparecimento de foto-corrente, evidenciando que os elétrons são extraídos com um valor energético, capaz de vencer o campo elétrico oposto.
- Esse valor do potencial tem um máximo de energia cinética  $E_{c(máx)}$ , pois quando o potencial retardo adquire um valor  $U_0$  não é possível apreciar o efeito. O valor do potencial de retardo e, portanto, de  $E_{c(máx)}$  não depende da intensidade da radiação incidente, mas sim da frequência da luz incidente sobre o metal.

Nesse sentido, foi utilizado a representação do experimento de Lenard modelado no Blender 3D conforme mostra a figura 20:

**Figura 20- Representação do experimento do Lenard simulado no Blender.**

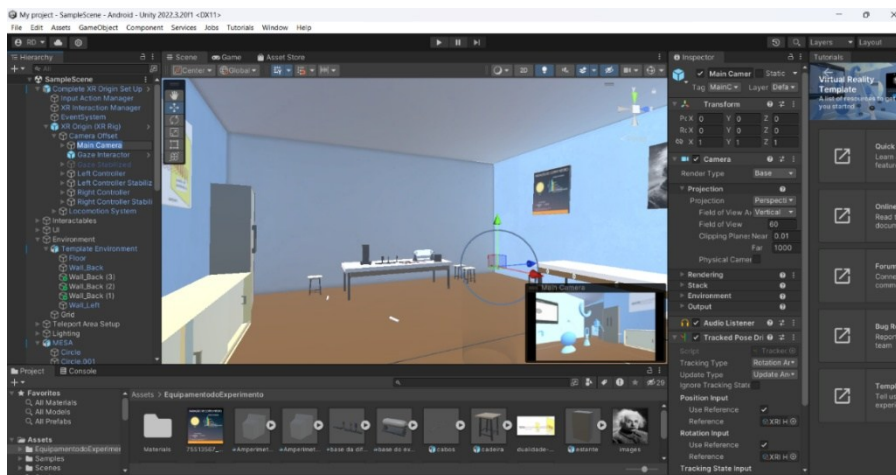


**Fonte: Autoria própria (2023)**

- c) **Desenvolvimento da simulação:** nesta etapa, começou-se com a criação do ambiente para a simulação de RVI. Iniciou-se a modelagem dos objetos que vão compor o cenário. Os modelos 3D foram exportados para o ambiente (cenário) na Unity onde aplicou-se as interações (programação), com esses elementos visuais.

Primeiramente definiu-se a tela inicial, que é a entrada para a sala de laboratório de Física Moderna, onde o usuário faz a imersão da RVI, entrando na sala dos experimentos como está representado na Figura 21.

**Figura 21 - Ambiente virtual criado na Unity**



Fonte: Autoria própria (2024)

Na sequência desenvolveu-se as duas partes da simulação, sendo o Momento A (ver Apêndice - D) a simulação de Difração da Luz representada na primeira bancada como se mostra na figura 21.

**Figura 22 - Bancada na simulação RVI (Momento A)**



Fonte: Autoria própria (2025)

Criou-se, depois, a experiência no Momento B (ver Apêndice - D), com relação ao Efeito Fotoelétrico, representado na segunda bancada como se indica na Figura 23.

**Figura 23 - Bancada na simulação RVI (Momento B)**



**Fonte: Autoria própria (2025)**

Ambas experiências desenhadas para que o usuário aluno/professor possa, por meio dessas representações dos fenômenos em cada um desses momentos, ao mesmo tempo analisar, discutir e refletir sobre o comportamento dual da luz. Evidenciando uma ferramenta Pedagógico-Tecnológica que seja capaz de contribuir para o avanço cognitivo do aluno.

- d) Testes preliminares: Esta fase foi realizada possibilitando vários testes durante a concepção da simulação e com a ideia de representar os fenômenos físicos de maneira que o usuário (aluno/professor) consiga interpretar e analisar tais experiências. Considerando a simulação como instrumento de mediação, onde, de maneira planejada o professor possa fazer uso da ferramenta didática e os alunos após as experiências de maneira individual, consigam compartilhar essas experiências com seus colegas de sala e professor.
- e) Interações e ajustes: Com base nos feedbacks dos testes preliminares, foi aplicada toda a parte técnica de programação e ajustes na simulação com o foco de melhorar a interatividade, design visual e correções técnicas conforme necessário. Considerando que é uma simulação original, ainda tem ajustes para serem analisados nas futuras atualizações das simulações e para futuras pesquisas.
- f) Discussão e conclusões: Nesta fase, a simulação foi avaliada por um grupo de professores da área de Física/Ensino. Depois, foi aplicada as simulações numa

turma de estudantes de Física experimental IV da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Posteriormente, analisou-se resultados obtidos, relacionando-os aos objetivos iniciais e o referencial teórico propostos nesta tese.

### **5.3 Fase III – Aplicação e Análise dos resultados**

Esta última fase contém os dois últimos objetivos específicos da pesquisa. Com relação ao objetivo V, avaliou-se a simulação RVI com professores universitários das áreas de Física/Ensino de Física.

Para esta etapa foram selecionados um grupo de (06) seis professores do Departamento de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR com a finalidade de avaliar a proposta de simulação RVI no ensino e aprendizagem da Física Moderna sobre o conteúdo específico da Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico.

Para realizar a coleta de dados, foi aplicado um questionário usando a escala tipo Likert (ver apêndice A) disponibilizado aos professores com a quantidade de treze (13) questões fechadas e de múltipla escolha. Classificadas em três grandes categorias, sendo elas: Percepção sobre a aprendizagem dos conteúdos; Engajamento e motivação; Usabilidade e experiência com a RVI. Cada questão relacionada com avaliação dos objetivos, conteúdos, estratégias, recursos e metodologias utilizadas na criação da proposta, tendo uma escala de concordâncias (Concordo totalmente, Concordo, Neutro/não sei, Discordo e Discordo totalmente).

Dessa maneira, é possível fazer um estudo qualitativo e descritivo. Para Pesce e Abreu, (2018, p. 20) “a abordagem qualitativa se caracteriza como um estudo aprofundado de uma dada realidade, procurando descrevê-la, analisá-la, interpretá-la e compreendê-la, tendo em vista os fatos que ocorrem e todos os envolvidos nesse processo”.

Ainda sobre a pesquisa qualitativa Rojas, Fonseca e Souza, (2010, p. 2) complementam dizendo:

[...] que a intencionalidade do pesquisador é conhecer o seu sujeito e desvelar suas ações tendo como ponto de partida os depoimentos, as respostas, as observações, o diálogo, deve-se salientar o enunciado como revelador de quem fala, que se mostra pela linguagem.

Pesce e Abreu, (2019, p. 20) citam como exemplo: a epistemologia qualitativa; a fenomenologia e o método fenomenológico; e a pesquisa-ação. Neste trabalho adotou-se a abordagem fenomenológica e o método fenomenológico para a análise qualitativa dos resultados da avaliação do produto aplicada aos professores especialistas no conteúdo específico da pesquisa desenvolvida.

Com relação ao objetivo VI, sobre a aplicação da simulação numa turma de Licenciatura em Física ou Engenharia foi selecionada uma turma com alunos da graduação de Engenharia Elétrica na disciplina de Laboratório de Física experimental IV da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Ponta Grossa, tendo sido aprovada o projeto pelo Comitê de Ética da UTFPR (ver Anexo - A). Avaliando sua eficácia como instrumento Pedagógico-Tecnológica na aprendizagem do conteúdo específicos para esta tese.

Realizou-se um questionário com quinze (15) perguntas mistas (abertas e de múltipla escolha), com o objetivo de avaliar as simulações como ferramenta Pedagógico-Tecnológica que facilitem uma mediação didática entre teoria e prática que permita ao aluno aproximar-se de seu aprendizado ampliando e facilitado, dentro da ZDP, segundo a perspectiva Vigotskiana.

A aplicação da proposta foi dividida em dois momentos: sendo Momento A (Fotografia 1) e Momento B (Fotografia 2). Em ambos se aplicou a simulação de RVI com o diferencial que, no primeiro momento se trabalhou com a simulação de Difração da Luz (Aula 1 – apêndice D). Logo após finalizar a aula, aplicou-se o questionário (ver Apêndice B) com as primeiras (06) questões relacionadas à experiência utilizando a RVI.

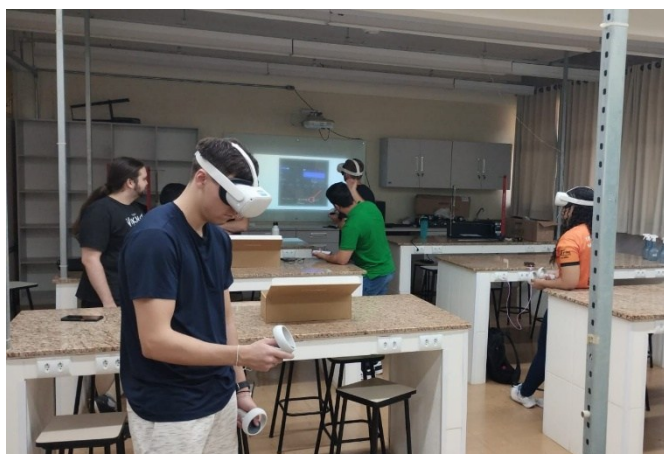
**Fotografia 1 – Aplicação da simulação RVI no Momento A**



**Fonte: Autoria própria (2025)**

Posteriormente, realizou-se o Momento B (Fotografia 2), onde foi abordada a parte da simulação do Efeito Fotoelétrico, trazendo os conhecimentos já desenvolvidos no primeiro momento A da simulação, permitindo relacionar os resultados com as teorias utilizadas sobre a Dualidade-Onda/Partícula (Aula 2 - apêndice D). Ao finalizar essa aula, aplicou-se o questionário com (09) questões (ver Apêndice C). Os questionários foram realizados em *Google Forms* e disponibilizados no final de cada aula por QR code aos alunos, e também pelo Gmail dos participantes após as experiências.

**Fotografia 2 – Aplicação da simulação RVI no Momento B**



**Fonte: Autoria própria (2025)**

Para a análise dos resultados foi utilizada a abordagem fenomenológica em que, segundo Ricoeur apud Rojas; Fonseca e Souza (2010, p.2), “a fenomenologia

lida com a tentativa de convergência dos discursos humanos em sua totalidade”. Consiste em dar um primado ao sentido e à promessa, sem omitir a estrutura e o rigor”.

[...] A pesquisa com base fenomenológica busca empreender investigações acerca de fenômenos humanos. Nesse processo, o vivido e o experiência assumem uma centralidade. As pesquisas desenvolvidas com base na Fenomenologia estão especialmente preocupadas com a análise dos relatos e as descrições dos sujeitos que vivenciaram o fenômeno em tela. A Fenomenologia questiona a premissa positivista de que o pesquisador deve buscar a neutralidade, salientando que tal premissa não considera as crenças e os valores presentes nos pensamentos e nas ações do investigador (Pesce e Abreu, 2019, p. 22-30).

Portanto os fenômenos analisados pelo método fenomenológico podem ser compreendidos como ocorrem na experiência, como se manifestam, assim o pesquisador busca a compreensão do fenômeno a partir dos relatos dos sujeitos da pesquisa, no que se constitui na fenomenologia hermenêutica, que corresponde ao método da interpretação, sendo a abordagem adotada neste trabalho (MARTINS; SANTOS, 2017, p.29). Assim, para a análise final, propõe-se três fases de análise: 1) Pré-análise; 2) Exploração do material; e 3) Tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

Dessa maneira, é possível levantar indicadores de avaliação da RVI organizando os resultados com as questões em ordem crescente, considerando desde os questionários aplicados com os professores especialistas, até com os alunos participantes com o questionário feito com (questões abertas ou fechadas), seguido do gráfico gerado a partir das respostas dos alunos dentro do formulário *Google Forms* e, na sequência, as análises fenomenológicas dos resultados obtidos.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÕES DA PESQUISA**

### **6.1 Resultados sobre a avaliação da simulação RVI por especialistas em Física/Ensino de Física.**

Nesta seção de análise de resultados apresenta-se a interpretação analítica do questionário de tipo escala Likert aplicado com um total de seis (06) professores avaliadores com níveis de escolaridade doutores, para apresentar a visão de experiências em quanto pesquisadores e especialistas na área específica de Física/Ensino de física, a aplicabilidade de experimentos em RVI para alunos e sobre as experiências deles enquanto imersos na simulação.

O objetivo foi validar a simulação de RVI no ensino e aprendizagem da Física Moderna sobre o conteúdo específico da Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico. Para realizar essa avaliação empregou-se o questionário impresso (ver apêndice A) e disponibilizado aos professores com um total de treze (13) questões de avaliação de concordância. Classificadas em três grandes categorias, sendo elas: I) Percepção sobre a aprendizagem dos conteúdos; II) Engajamento e motivação; III) Usabilidade e experiência com a RVI. Cada questão foi relacionada com avaliação dos objetivos, conteúdos, estratégias, recursos e metodologias utilizadas na criação da simulação RVI, tendo uma escala de avaliação (Concordo totalmente, Concordo, Neutro/não sei, Discordo e Discordo totalmente).

Além disso, antes do professor preencher o questionário, foi realizada uma demonstração da simulação, objetivos, conteúdos e metodologias de aplicação. Cada professor teve a oportunidade de testar a simulação RVI, entrar na sala virtual e realizar os dois experimentos para depois fazerem as considerações.

A análise dos resultados em cada categoria foi organizada de maneira que oportunizasse estudar cada resposta a cada questão e assim calcular uma porcentagem geral de cada categoria apresentada no questionário. Na seguinte tabela 14 encontram-se as questões realizadas na primeira categoria nomeada “Percepção sobre a aprendizagem dos conteúdos”, tendo questões relacionando à simulação RVI diante aos conteúdo da Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico: o potencial da simulação nos processos de ensino dos conteúdos, tendo como questão mais

importante se a RVI pode ser um instrumento pedagógico onde o aluno consiga superar os níveis de abstração nos conteúdos trabalhados na simulação.

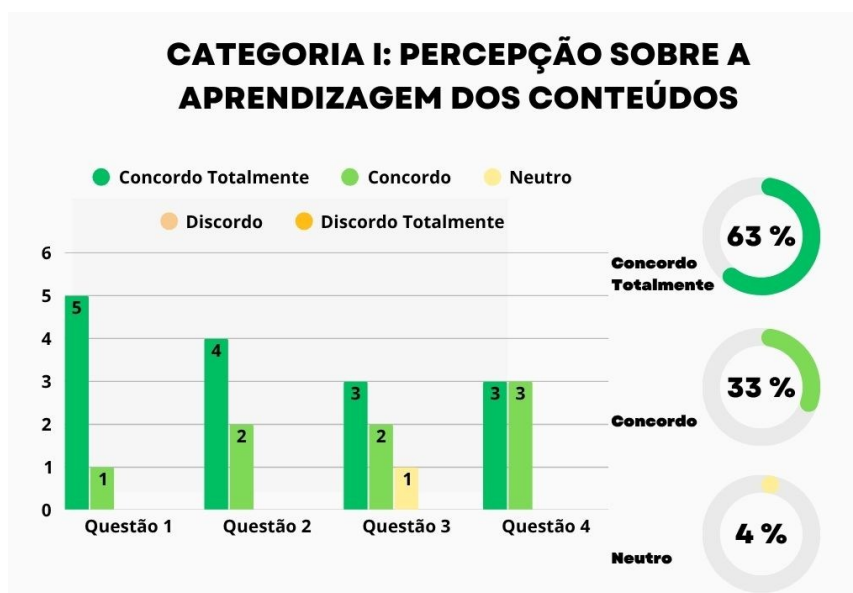
**Quadro 6 - Questões da categoria I**

<b>Questão 1:</b> A simulação em realidade virtual demonstra potencial para facilitar a compreensão do conceito de dualidade onda-partícula por parte dos estudantes?
<b>Questão 2:</b> A simulação favorece a articulação entre os aspectos teóricos e experimentais da Física Moderna?
<b>Questão 3:</b> A abordagem do efeito fotoelétrico por meio da RVI torna os conceitos mais acessíveis e compreensíveis aos alunos?
<b>Questão 4:</b> A utilização da RVI contribui para superar dificuldades associadas à abstração dos conteúdos de Física Moderna?

Fonte: Elaboração própria (2025)

Na figura 24, apresenta-se os resultados das respostas de cada questão da categoria I feitas pelos professores participantes, observa-se que 63 % dos professores responderam que Concordam Totalmente, 33% Concordo e 4% Neutro para essa categoria. Torna-se evidente a importância de levar para as salas de aula inovação tecnológica de forma didática para contribuir com o aprendizado dos alunos, ao favorecer articulação entre os conteúdos apresentados na simulação e o ganho na aprendizagem.

**Figura 24 - Resultados da Categoria I**



Assim, pode-se interpretar a validade do conteúdo da simulação, ao apresentá-la como recurso alinhado aos objetivos de aprendizagem. Levando-se à percepção de útil para compreender-se conceitos-chaves, integrar teoria e prática e superar a abstração dos conteúdos simulados. Dessa maneira, a adoção de ambientes imersivos no ensino de Física tem se mostrado promissora para aproximar conceitos abstratos de situações exploráveis e manipuláveis, mesmo às quais possam ser realizadas na prática de aula tradicional/convencional, favorecendo a mediação pedagógica e a aprendizagem ativa (Trampuz, 2023).

Essa interpretação da atuação da RVI se alinha à literatura de mediação Pedagógico-Tecnológica. Segundo Vieira e Brazão, (2022), ambientes tecnológicos imersivos oferecem andaimes cognitivos capazes de auxiliar o aluno em sua ZDP na interpretação e compreensão dos fenômenos físicos abordados por uma ferramenta pedagógica. Essa concordância valida a premissa de que a RVI pode ser um potente instrumento de mediação, não apenas apresentando o conteúdo, mas também estruturando o suporte necessário para o avanço cognitivo e a construção de significado por parte do aprendiz.

Por outro lado, na categoria II foram feitas quatro questões relacionadas a abordagens pedagógicas quando se fala de recursos didáticos para aplicar em sala de aula, e se oportuniza comparar métodos de ensino tradicionais ao uso da tecnologia com a RVI. As questões estão descritas na tabela 15.

**Quadro 7 - Questões da categoria II**

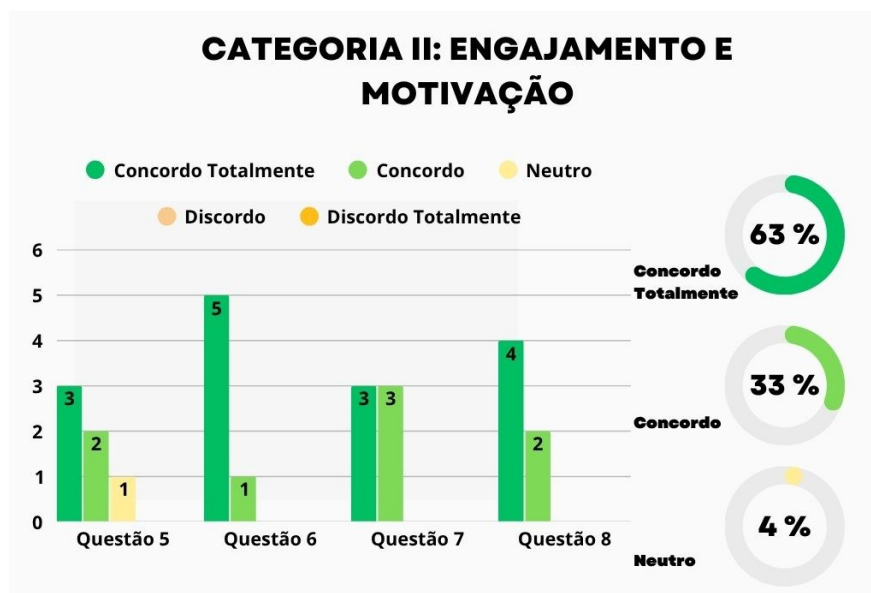
<b>Questão 5:</b> A abordagem com RVI pode tornar o aprendizado mais atraente em comparação com métodos tradicionais?
<b>Questão 6:</b> A tecnologia de realidade virtual mostra-se eficaz para despertar o interesse dos alunos pela Física Moderna?
<b>Questão 7:</b> A simulação em RVI promove uma experiência de aprendizagem mais atrativa para os estudantes?
<b>Questão 8:</b> O uso da RVI permitiu uma melhor visualização dos processos físicos envolvidos no efeito fotoelétrico que desperte a curiosidade científica dos estudantes?

**Fonte: Autoria própria (2025)**

Como resultado, observa-se na figura 25 que 63% Concordam Totalmente que a RVI pode tornar o aprendizado mais atraente, que pode despertar o interesse

dos alunos e promover experiências mais envolventes e dinâmicas. Enquanto 33% somente Concordam e 4% dizem ser Neutro. Isso faz acreditar que o uso da RVI pode servir como motivação e engajamento para os alunos.

Figura 25 - Resultados da categoria II



De acordo com as respostas, pode-se dizer que a RVI oferece várias vantagens como a criação de situações controladas e pensadas pelo professor para que as atividades sejam mais atraentes para os alunos. Dessa maneira, poderá oferecer aos alunos uma percepção próxima à vivência real do experimento, despertando a curiosidade pelos fenômenos físicos, reduzindo a necessidade de ter instrumentos de laboratório fisicamente e operando com recursos virtuais imersivos que tornam o seu funcionamento possível (Trampuz, 2023).

De igual forma, apresenta-se a última categoria pesquisada pelo questionário, considerando cinco questões, conforme a tabela 16 e que estão relacionadas com a parte interativa e representativa dos fenômenos físicos na simulação, da parte das instruções e do funcionamento dentro do ambiente virtual. Considera-se aqui a simulação como um instrumento de mediação Pedagógico-Tecnológica por meio de signos e representações em concordância com o Vygotsky.

**Quadro 8 - Questões da Categoria III**

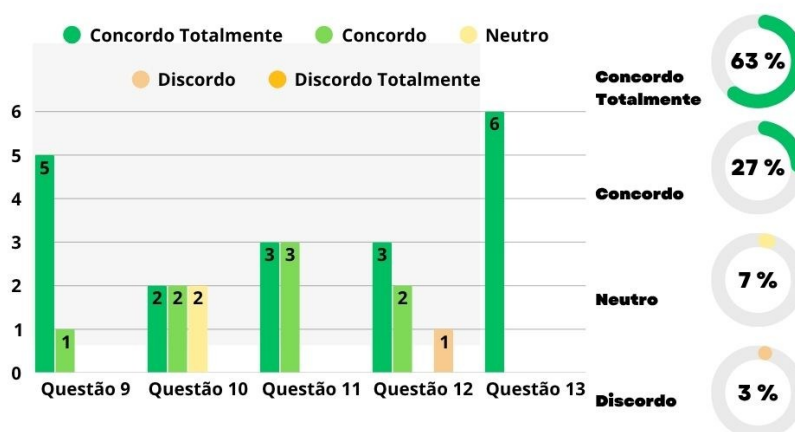
<b>Questão 9:</b> Os elementos interativos da RVI favoreceram a compreensão dos fenômenos físicos simulados?
<b>Questão 10:</b> A simulação apresentou uma interface funcional e de fácil navegação para os estudantes?
<b>Questão 11:</b> As instruções da simulação foram claras e adequadas ao público-alvo?
<b>Questão 12:</b> A RVI pode ser considerada um instrumento de mediação didática segundo a teoria de Vygotsky?
<b>Questão 13:</b> A metodologia com RVI possui condições de escalabilidade para outros conteúdos ou disciplinas de Física?

**Fonte: Autoria própria (2025)**

Nestas análises dos resultados, 63% disseram Concordo Totalmente e 27% Concordo. Considerando esse resultado, a simulação RVI como uma ferramenta Pedagógico-Tecnológica possibilita a compreensão dos fenômenos físicos de maneira interativa e simbólica, promovendo uma aproximação mesmo que virtualmente, mas criando uma ponte de ligação entre teoria e prática sobre o que acontece com as interpretações da Dualidade Onda-Partícula. Assim, a simulação proposta apresenta uma interface que pode ser compreendida tanto pelo professor quanto pelos os alunos. No entanto, 7% sinalizaram Neutro em relação à mediação vigotskiana no ensino com RVI, diante de apenas 3% Discordo.

**Figura 26 - Resultados da categoria III**

### **CATEGORIA III: USABILIDADE E EXPERIÊNCIA COM A RVI**



**Fonte: Autoria própria (2025)**

De acordo com esses resultados, pode-se interpretar que a RVI é capaz de permitir aos alunos refletir sobre os conhecimentos teóricos previamente já estudados.

Sendo assim, por meio da experimentação simulada em ambiente virtual consiga reforçar a ZDP por meio da interação professor-tecnologia como figura principal de mediação pedagógica. Depois de ser testado de maneira individual por parte dos alunos, os professores podem abrir debates e promover compartilhamento de experiências entre os estudantes em sala.

#### 6.1.1 Análise geral do estudo da avaliação RVI pelos professores de Física

A simulação virtual proposta nesta pesquisa foi criada para servir como ferramenta de mediação Pedagógico-Tecnológica, sendo um instrumento capaz de mediar a aprendizagem no conteúdo específico da Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico, trazendo uma novidade para sala de aula, tanto para o professor (principal figura de mediador) quanto para os alunos. De maneira que possam ter uma ferramenta didática para conseguirem visualizar, mesmo que, por representação simbólica e experimental simulada virtualmente, as experiências da Dualidade da Luz.

Na simulação apresentam-se duas experiências, na primeira parte, a simulação de Difração de uma lâmpada de mercúrio, considerando a luz, de forma clássica, como uma onda; relacionando à teoria de Tomas Young. Na segunda parte, o experimento sobre o Efeito Fotoelétrico com as ideias experimentais de Philipp Lenard e teorias de Albert Einstein, onde o aluno interpreta a luz como fóton, sendo uma partícula. Com a finalidade de compreender de maneira mais dinâmica uma interpretação desse fenômeno dual da luz.

Neste contexto, buscou-se nas alternativas teóricas de aprendizagem aquilo que possa explicar a utilização da RVI de forma didática, com a finalidade de encontrar respostas ao problema principal da pesquisa, que é a possibilidade de mediação Pedagógico-Tecnológica, utilizando a simulação RVI para ensinar Física Moderna. Essa ideia tornou-se norteadora para a criação de uma simulação que foi testada e avaliada por um grupo de professores da área de Física, e aplicada para um grupo de alunos.

Nessa perspectiva, a RVI é uma ferramenta de mediação didática que ajuda facilitar a compreensão de fenômenos físicos abstratos, como os presentes na Física

Moderna, especialmente os conceitos que tratam de partículas subatômicas e realidades que escapam à experiência sensorial-direta, como um campo do conhecimento que ainda apresenta muitas barreiras cognitivas para os estudantes e professores. Dessa forma, simulações imersivas podem contribuir significativamente para tornar visível o invisível, ampliando a compreensão e o engajamento dos conteúdos de difícil assimilação (Jiugen et al, 2020).

Sendo assim, Matovu et al, (2023), destacam que ao promover a colaboração em espaços virtuais imersivos, a RVI permite o acompanhamento pedagógico mediado por instrumentos que permitem um melhor aprendizado. Dessa maneira, a RVI passa a ser entendida como uma ferramenta tecnológica que pode servir como um instrumento social, permitindo ao aluno reforçar a ZDP, promovendo engajamento, pertencimento e aprendizagem significativa. Entretanto é importante considerar uma sequência didática e planejada que permita ao professor controlar a experiência como mediador principal entre a teoria e o uso da tecnologia.

## **6.2 ANÁLISE DE RESULTADOS APÓS APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO RVI**

Os resultados da aplicação RVI realizadas aos sujeitos da pesquisa são analisados com o objetivo de validar a ferramenta como instrumento de Mediação Pedagógico-Tecnológica que ajuda ao aluno a potencializar a ZDP. Para realizar o levantamento desses dados, utilizou-se um questionário com quinze (15) perguntas mistas (abertas e de múltipla escolha), com a finalidade de avaliar a simulação, com foco no conteúdo da Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico e analisar os fundamentos didáticos e pedagógicos que se encontram por trás da ferramenta tecnológica.

A aplicação da simulação foi estruturada em dois momentos. No primeiro deles (Momento A), realizou-se uma experiência de difração da luz utilizando uma lâmpada de mercúrio. Nesta atividade, os estudantes puderam evidenciar a difração luminosa, observar a relação entre os comprimentos de onda da luz e a variação do ângulo do anteparo, bem como compreender a dependência da frequência em relação a esses comprimentos de onda. Ao término dessa etapa, foi aplicado um questionário,

específico para o Momento A que continha as seis primeiras perguntas (ver Apêndice B). Este questionário foi disponibilizado digitalmente, via Google Forms, e compartilhado com cada participante imediatamente após a conclusão da aula.

A simulação do Efeito Fotoelétrico foi igualmente abordada no Momento B (segunda aula). Os estudantes utilizaram os dados e a compreensão da difração (comprimento de onda, frequência e ângulos) para interagir com o arranjo experimental, semelhante ao utilizado por Phillip Lenard, composto por duas placas metálicas em um invólucro de vidro onde foi feito vácuo. Eles puderam modificar variáveis como o material das placas, a diferença de potencial e a intensidade da luz. Essa experiência, tanto prática quanto conceitual, forneceu os elementos necessários para a interpretação do dualismo onda-partícula da luz, um dos pilares da Física Quântica desde sua formulação inicial.

No final da aula foi aplicado o questionário com nove (09) perguntas restantes (ver Apêndice C), o que possibilitou levantar indicadores da aplicação e avaliação da RVI. Os resultados são organizados com as questões apresentadas em ordem crescente, seguidas por tabelas com as respostas dos participantes para as questões abertas e gráficos gerados a partir dos dados do Google Forms. Em seguida, realizou-se a análise fenomenológica dos resultados.

A primeira questão importante no momento de apresentar uma ferramenta tecnológica para o ensino é saber se o aluno já teve experiências com alguma finalidade de uso, seja lúdica ou educacional, com RVI. Segundo as respostas obtidas, aproximadamente 75% dos alunos participantes não teve contato com o uso da RVI. O restante teve alguma experiência fora do ambiente educacional como foi indicado nas respostas dos participantes, exibida na tabela 17, deram exemplo de uso em jogos, simulação de voo, entre outros, mas não como recurso educacional.

#### **Quadro 9 - Respostas da questão 1 do questionário momento A**

1	Você já teve a oportunidade de utilizar a Realidade Virtual Imersiva (RVI) para alguma atividade lúdica (jogos) ou educativa? Descreva brevemente como foi essa experiência.
A1	- Para jogos, é outra coisa, a imersão, a facilidade de entender, o mais complexo é entender o seu espaço fora da realidade virtual, muitas vezes batia nas paredes.
A2 até A8	- Não.

---

A9 - Não tive a oportunidade até o momento.

---

A10 - Eu joguei um jogo de terror em uma festa de aniversário, foi bem legal bastante realista.

---

A11 - Sim, vídeo game.

---

A12 - Sim, quando era criança, joguei um jogo.

---

A13 – Nunca.

---

A14 - Sim, simulei um voo em asa-delta.

---

A15 - Não, é a minha primeira experiência educativa com RVI

---

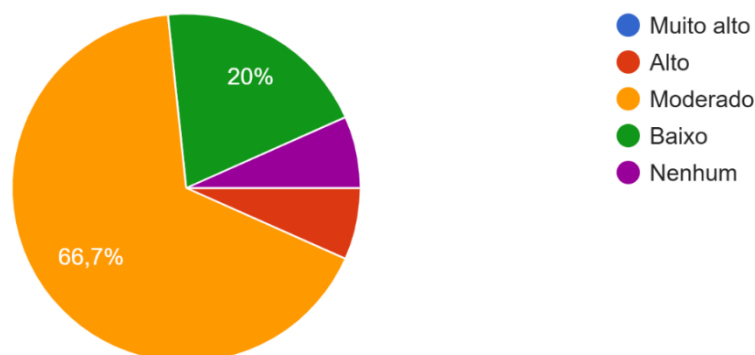
**Fonte: Autoria própria (2025)**

Essa constatação permitiu verificar que, mesmo no ambiente universitário, ainda não é comum a abordagem de simulações em RVI como processo de ensino-aprendizagem. Apesar do crescente interesse de tal ferramenta para fins de demonstrações experimentais, tanto nas ciências, engenharia e física identificados no levantamento bibliográfico realizados, sua implementação efetiva ainda carrega algumas dificuldades como acesso aos equipamentos hardware e software e a falta de preparação técnica dos professores para encarar produções na parte de simulações computacionais.

Embora o uso das tecnologias digitais seja mais evidente em ambientes não educacionais, quando empregadas de forma planejada e crítica, atuam como mediadoras entre o conhecimento científico e a aprendizagem discente, promovendo uma postura ativa de investigação e experimentação. Desse modo, as potencialidades das tecnologias emergentes, como a RVI, oferecem experiências formativas que capacitam os alunos a desenvolver habilidades cognitivas superiores (Vieira; Brazão, 2022).

A próxima questão que foi importante nesta análise é a de que permitiu conhecer se o aluno tem algumas ideias teóricas sobre o conteúdo específico da difração da luz antes de realizar a simulação. Indicando algumas dessas opções como se mostra na seguinte Figura 27.

**Figura 27 - Qual o seu nível de compreensão sobre o conceito de difração antes de usar a simulação em realidade virtual imersiva?**

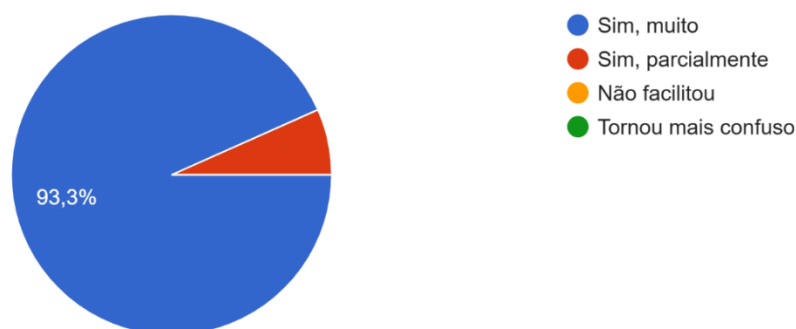


Fonte: Autoria própria (2025)

Constatou-se que 66,75% dos participantes indicaram possuir um conhecimento prévio 'Moderado' sobre difração da luz, o que sugere que os alunos já haviam tido contato com o conteúdo em aulas teóricas. Diante desse cenário, percebe-se uma agilidade maior no uso da simulação experimental, como um instrumento que reforça o aprendizado do conteúdo, permitindo ao aluno uma posição mais crítica e reflexiva, potencializando a troca de conhecimentos com seus colegas.

Logo após que os alunos realizaram a experiência de difração da luz, foram aplicadas a seguintes questões para verificar o engajamento e motivação reflexiva por parte dos alunos.

**Figura 28 - A simulação em RVI facilitou a compreensão do fenômeno de difração?**



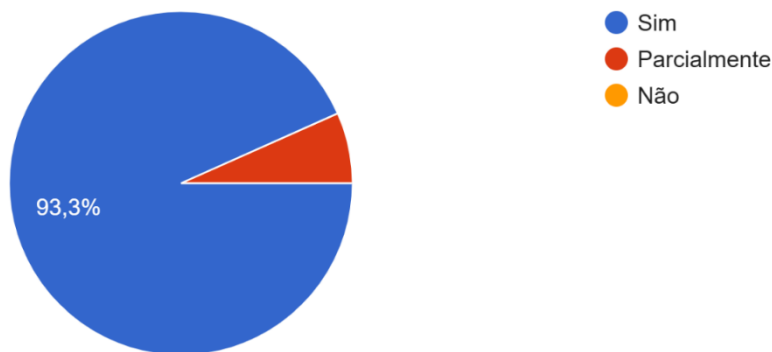
Fonte: Autoria própria (2025)

De acordo com os resultados, 93,3% dos alunos após a utilização da RVI, marcaram que a simulação facilitou a compreensão do fenômeno da difração. Isso demonstra que as experiências didáticas favorecem a aprendizagem ativa, exploratória

e reflexiva, como elementos fundamentais para que o aluno ultrapasse seus níveis atuais de desenvolvimento em direção a novas conquistas cognitivas (Trampuz, 2023).

Da mesma maneira, foi realizada uma questão que foca na compreensão do efeito da luz passando pela rede de difração, verificando-se que a simulação proporcionou melhor entendimento do fenômeno, comparativamente ao não uso de recurso tecnológico.

**Figura 29 - Você sentiu que a simulação proporcionou um melhor entendimento sobre como a luz se comporta ao passar pela rede de difração?**



**Fonte: Autoria própria (2025)**

Com relação à interatividade e simbolismo, a simulação permitiu investigar nos alunos com uma porcentagem significativa de aproveitamento. O que dá a entender que é um instrumento que facilita a compressão do fenômeno, mesmo, considerando necessário alguns ajustes na parte de interação com os comandos no ambiente virtual a serem melhorados, em busca de proporcionar uma experiência, onde a maioria alcance um ganho cognitivo no aprendizado. Constatando que a RVI oferece um ambiente tridimensional altamente envolvente, capaz de transportar o aluno para contextos abstratos e complexos que, muitas vezes, não são acessíveis em sala de aula tradicional. Afonso et al. (2020).

Simultaneamente, realizou-se uma questão aberta com a possibilidade de que os alunos descrevessem as experiências e os pontos de interesse durante a simulação de difração da luz.

### Quadro 10 - Respostas de questão 5

5. Na sua opinião, quais foram os aspectos mais interessantes observados no fenômeno de Difração na simulação?

A1 - Ter a imersão no cenário.

A2 - A imersão criada, olhar como as diferentes cores interagem.

A3 - O realismo das imagens, a interação dos experimentos e semelhança com a realidade.

A4 - Como as cores se relacionam com a frequência e comprimento de onda, e como a frequência é alta.

A5 - A forma como a mudança de ângulo interfere no comprimento encontrado. Na teoria parecem eventos "separados", mas a simulação deixa claro que ocorrem de maneira diferente.

A6 - Relação de cores com comprimento de onda e alta frequência.

A7 - A facilidade de compreensão que a manipulação virtual traz para o experimento, uma mudança simples que traz resultados diferentes.

A8 - Aprender como as cores mudam de acordo com seu comprimento de onda e sua frequência.

A9 - Eu achei superbacana o fato de o equipamento estar pronto, otimizando o tempo e o aprendizado de forma intuitiva e dinâmica.

A10 - A tecnologia ajuda muito na observação do fenômeno, podendo ver a variação em tempo real das cores em relação ao ângulo, ver todas as variações em tempo real.

A11 - A versatilidade do experimento.

A12 - Acredito que a capacidade visualizar a alteração das cores conforme o ângulo foi sendo alterado.

A13 - A profundidade Física e conteúdo muito bem abordado experimentalmente.

A14 - Como dependendo do material exige uma frequência maior da luz, que dá pra interagir com todos os componentes dos experimentos.

A15 - Os aspectos onde percebemos a luz como onda.

**Fonte: Autoria própria (2025)**

Os relatos convergem para algumas características importantes da simulação RVI, uma é a imersão/realismo, onde os alunos destacam a sensação de presença e o caráter “parecido com a realidade” isso nas respostas dos alunos (A1, A2, A3), elementos que sustentam engajamento inicial e atenção. Na parte da visualização dos comprimentos de ondas “observáveis” com a cor (franjas) de cada comprimento de onda e valores de frequência de onda. Respostas como (A4, A6, A8) indicam que a simulação ajudou a mapear representações (cor, comprimento de onda e frequência), reduzindo a distância entre símbolos, imagens e grandezas físicas, saindo um pouco da representação tradicional da sala de aula por meio de gráficos e geometria.

Na parte do raciocínio, a variação do ângulo e o comprimento de onda da luz com o feedback em tempo real. Em menor escala, surgem ganhos operacionais como por exemplo, “experimento pronto”, versatilidade e registros de aprofundamento conceitual “natureza ondulatória da luz”, impressões relatadas dos alunos (A5, A7, A10, A12). Ou seja, evidenciam a compreensão de que pequenas variações controladas no ângulo do anteparo, que a simulação gera provoca mudanças sistemáticas no padrão observado, algo difícil de ver com a mesma clareza em arranjos não imersivos.

Ao propósito, é importante ressaltar que a RVI ganha tempo cognitivo ao reduzir barreiras logísticas enquanto o equipamento real, dentro de uma sala de laboratório, tendo a possibilidade do professor em apresentar a simulação dentro das aulas sem precisar especificamente do ambiente de laboratório físico.

Segundo Rizal et al. (2025), a RVI permite que os estudantes interajam com fenômenos por meio de experiências tridimensionais imersivas. Essas simulações oferecem uma vivência mais dinâmica dos fenômenos, mostrando que o uso de simulação imersiva aumenta o engajamento, a motivação e desperta a criatividade diante os conhecimentos apresentados na simulação.

Além disso, é possível pensar que as simulações imersivas permitem aos alunos uma visualização interativa, despertando maior curiosidade para o aprendizado, reduzindo a carga cognitiva e aumentando significativamente a eficácia do aprendizado, quando comparado com métodos tradicionais de ensino a exemplo explicações gráficas no quadro de giz.

Adicionalmente, uma última questão no formulário do Momento A buscou verificar o engajamento do aluno no processo de aprendizado.

**Figura 30 - Você se sentiu mais engajado pela RVI durante a aprendizagem com este método de ensino utilizado?**



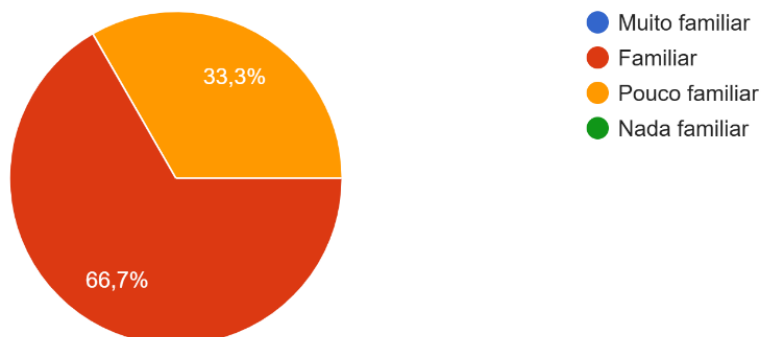
**Fonte: Autoria própria (2025)**

O gráfico mostra que os alunos se sentiram motivados com a aprendizagem utilizando a RVI, o que representa uma boa perspectiva de como um instrumento pedagógico permite ao aluno ter engajamento com o recurso tecnológico. Ademais disponibilizar ao professor uma ferramenta que permite vivenciar um ambiente virtual na sala de aula com mais interatividade enriquecendo as discussões dentro da Física Moderna.

Segundo Vieira e Brazão, (2022), as tecnologias quando utilizadas de maneira planejada e crítica, funcionam como instrumentos de mediação entre o conhecimento científico e a aprendizagem dos alunos, colocando-o em uma posição ativa de investigação e experimentação, permitindo que os alunos desenvolvam habilidades cognitivas superiores.

Na sequência, foi realizada a análise da segunda parte do questionário respondido pelos alunos após finalização da simulação referente ao fenômeno do Efeito Fotoelétrico (Momento B). Considera-se nesta parte da simulação, onde os alunos conseguem refletir sobre os fenômenos da luz como partícula e trazer ideias da compreensão da dualidade da luz com interpretações de onda e de partícula. Com finalidade de estudar os resultados de aplicação, iniciou-se a aplicação do questionário com uma questão sobre o nível de familiaridade do aluno com o conteúdo da dualidade da luz, refletindo sobre o que se conhece do assunto.

**Figura 31 - Qual é o seu nível de familiaridade com o conteúdo sobre Dualidade Onda-partícula e o Efeito Fotoelétrico?**

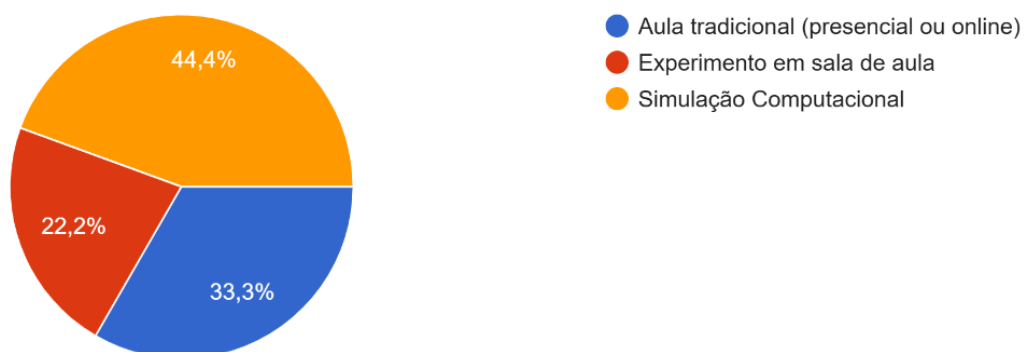


**Fonte: Autoria própria (2025)**

Observando o gráfico, 66,7% dos alunos sinalizaram como “Familiar” que eles têm noções básicas do conteúdo, seja pelas aulas teóricas dentro da disciplina ou por outras fontes de conhecimento. Outros 33,3% “Pouco familiar” mostrando que só alguns dos alunos conhecem parcialmente o conteúdo da Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico. Tal mapeamento inicial é fundamental para que o professor e o pesquisador compreendam a relevância de estruturar discussões e reforços para a aprendizagem ao implementar abordagens didáticas que utilizem a RVI.

Na sequência, levantou-se uma questão importante que é conhecer como o aluno teve as aulas teórico-práticas sobre esses conteúdos em discussão. A Figura 32 exibe a questão e o percentual das respostas em cada categoria.

**Figura 32 - Qual método foi utilizado para o seu aprendizado deste conteúdo?**

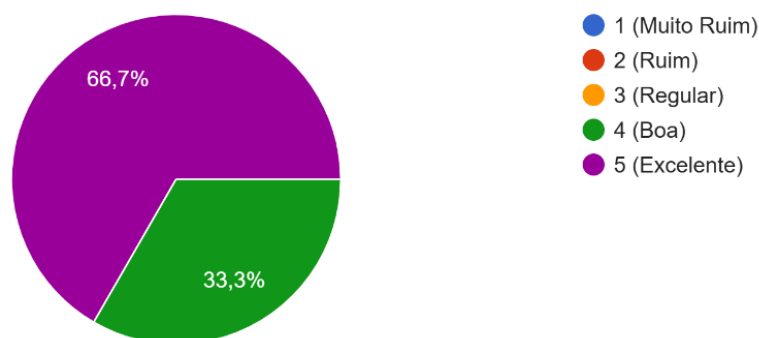


**Fonte: Autoria própria (2025)**

Do total de participantes, 44,4% indicaram que utilizaram “Simulação computacional”, dentro dessas opções é muito utilizado as simulações *PhET interactive simulations*<sup>32</sup>, que são simulações dinâmicas e de acesso livre. A porcentagem restante selecionou “Aulas tradicionais”, possivelmente com estudos teóricos e demonstrações em sala de aula em quadro de giz. Por conseguinte, foi oportuno aplicar a simulação de RVI, considerando que os alunos já tiveram contato com simulações computacionais, mesmo não sendo imersivas, mas que puderam dar uma boa noção da interação e ganho de aprendizagem entre simulações 2D e 3D imersiva.

Concluídas a simulação e as discussões com os pares, questionou-se a visão dos alunos sobre as explicações e a dinâmica de utilização dos instrumentos no ambiente virtual.

**Figura 33 - Em uma escala de 1 a 5, como você avalia a clareza das explicações fornecidas durante a aprendizagem com RVI?**



**Fonte: Autoria própria (2025)**

Os resultados deixam em evidência que os tutoriais e explicações sobre a utilização do ambiente RVI foram bem compreendidas pelos alunos durante o uso da simulação, mesmo que alguns alunos apresentaram dificuldades no início da experiência, isso com relação à interação com os comandos utilizados dentro do ambiente RVI como por exemplo: deslocamento, interação com os objetos (equipamentos dos experimentos) e domínio no ambiente. Isso permitiu conhecer as

<sup>32</sup> <https://phet.colorado.edu/>

debilidades operacionais para serem melhoradas para próximas edições e aplicações da simulação.

Com relação ao engajamento dos alunos com o uso da ferramenta Pedagógico-Tecnológica. Foi importante saber se o método e tecnologia podem ser visualizados como instrumento mediador que desperte no aluno o pensamento reflexivo e crítico. Dessa maneira, foi levantada a seguinte questão sobre o engajamento dos alunos durante as experiências com as simulações RVI.

**Figura 34 - Você se sentiu mais engajado durante a aprendizagem com o uso da RVI?**

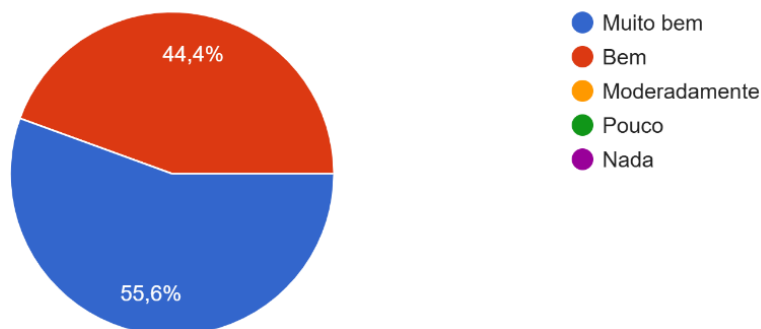


**Fonte: Autoria própria (2025)**

Observa-se que a utilização da RVI como instrumento pedagógico, despertou nos alunos a curiosidade e o engajamento. Da mesma maneira, se confirma em outras pesquisas relatadas por Matovu et al, (2023) e Souza et al, (2023), que os benefícios mais significativos na utilização da realidade virtual estão relacionados ao engajamento, motivação e imersão dos estudantes. Essa constatação reforça a importância de desenvolver estratégias pedagógicas intencionais que aproveitem as potencialidades da RVI como suporte para uma mediação que reforce a ZDP.

A combinação dessas estratégias pedagógicas com o uso da tecnologia promove transformações significativas no campo conceitual. Nessa perspectiva, formulou-se uma questão com o objetivo de verificar se os alunos haviam compreendido os conceitos envolvidos no conteúdo específico da simulação apresentada.

**Figura 35 - Quão bem você acha que compreendeu os conceitos envolvidos sobre Dualidade Onda-Partícula e Efeito Fotoelétrico após a aula?**



Fonte: Autoria própria (2025)

A distribuição concentrou-se nos níveis superiores da escala, sendo que 55,6% dos alunos responderam “Muito bem” e 44,4% “Bem” o que representa uma boa eficiência na percepção de compreensão dos conceitos trabalhados dentro da simulação RVI. Assim, é possível configurar a simulação como um instrumento de mediação simbólica para representar fenômenos da Física Moderna no ambiente virtual, onde o aluno possa visualizar e compreender de forma dinâmica o que acontece com os fenômenos físicos. Dessa maneira, o aluno vai criando e desenvolvendo um certo nível cognitivo que ajuda a melhorar seu entendimento e compressão de maneira reflexiva.

Posteriormente, uma questão foi apresentada, permitindo que o aluno identificasse qual momento da experiência no ambiente virtual mais contribuiu para sua compreensão do fenômeno físico simulado.

#### Quadro 11 - Respostas de questão 12

12. Quais aspectos da aula/simulação você achou mais úteis para seu aprendizado?

A1 - Diferente, legal.

A2 - Método interativo e lúdico.

A3 - A simulação foi legal para realizar um experimento que não poderíamos realizar em laboratório físico.

A4 - A imersão do experimento.

A5 - Como a variação do material alterava na dispersão de elétrons.

A6 - A visualização em tempo real dos experimentos, as mudanças dinâmicas durante o experimento.

A7 - Trazer experimentos inacessíveis fisicamente para o mundo online para entender conceitos teóricos na prática.

---

A8 - A capacidade de conseguir testar com diversos materiais e ver como isso afeta o efeito fotoelétrico.

---

A9 - Conhecer experimentalmente os fenômenos que relaciona essa dualidade da luz.

---

A10 - A tecnologia ajudou para compreender o fenômeno da dualidade.

---

A11 - Versatilidade do experimento.

---

A12 - Compreender o fenômeno, como a luz interage dependendo do experimento.

---

A13 - A profundidade Física e conteúdo muito bem abordado experimentalmente.

---

A14 - Como dependendo do material do metal e o comprimento de onda utilizado, se pode visualizar a rejeição de elétrons.

---

A15 - Os aspectos onde percebemos a luz como onda e partícula.

---

**Fonte: Autoria própria (2025)**

Como resultado, os relatos indicam que os alunos percebem a utilidade naquilo que caracteriza a RVI como meio de aprendizagem. Segundo (A2, A4) no uso da simulação tem-se imersão e interatividade que sustentaram a atenção e interesse enquanto a possibilidade de manipular variáveis físicas e observar o efeito imediato em tempo real. Outro ponto recorrente foi o “acesso” a arranjos experimentais que dificilmente seriam executados no laboratório convencional (A7, A8), sendo assim, a simulação RVI permitiu levar para sala de aula experiências complexas, transformando-as em uma possibilidade de interpretação dos fenômenos físicos através da linguagem de modelos simbólicos e representativos.

Do ponto de vista do conteúdo, as respostas (A9, A10) mostram que a RVI ajudou na compreensão da Dualidade Onda-Partícula. Na primeira parte o foco esteve em ângulos e padrões de difração da luz como onda. No segundo experimento o foco esteve nos metais das placas, comprimentos de onda e intensidade de luz para visualizar a “rejeição” dos elétrons e assim ter uma noção de luz como partícula.

Nota-se, também, a necessidade de precisão terminológica, expressões como (A5, A6) “dispersão de elétrons” aparecem como indício de sentido, mas no fenômeno envolvido o que ocorre é a “emissão/ejeção fotoelétrica” condicionada à frequência da luz e à função trabalho do material. Essa demarcação de modelos é central para ter uma compreensão do fenômeno.

Enfim, os estudantes não apenas acharam a experiência “diferente” ou “legal”, mas reconheceram as possíveis relações e caminhos para ver, manipular e compreender como os fenômenos acontecem. Sendo assim, esse é o tipo de utilidade que se espera quando a RVI é usada como mediação Pedagógico-Tecnológica.

Da mesma forma, se apresenta a questão 13, focada nas dificuldades encontradas pelos alunos durante a aprendizagem com as simulações realizadas com finalidade de potencializar a ferramenta para futuras aplicações.

#### Quadro 12 - Respostas de questão 13

---

13. Você encontrou alguma dificuldade durante a aprendizagem? Se for sim, descreva:

A1 - Não tinha familiaridade com VR.

A2 - Única dificuldade foi aprender os comandos de operação.

A3 - Um pouco no início com os comandos do controle, mas depois vai se habituando.

A4 até A11 - responderam não.

A12 - No final do experimento o aplicativo começou a travar um pouco, mas fora isso foi um experimento tranquilo.

A13 - No começo só para aprender a mexer no ambiente virtual.

A14 - No começo para aprender os comandos para realizar as simulações.

A15 - Dificuldade ao momento de entender os comandos dentro da RV.

---

**Fonte: Autoria própria (2025)**

Os dados apontam que a maioria dos alunos, aproximadamente 53% não encontrou obstáculos relevantes. A porcentagem restante relata dificuldades com relação aos processos operacionais iniciais da simulação. Por exemplo: (A1, A2) destacam a “falta de familiaridade com VR” “aprender os comandos de operação” e “entender os comandos dentro da RV”. Apenas um relato menciona falha técnica pontual (A12) “travou no final”. Isso pode permitir ao pesquisador analisar o sistema operacional e realizar as melhorias correspondentes para deixar a simulação mais efetiva funcionalmente. Nesta questão, não aparecem menções às dificuldades conceituais com relação aos conteúdos de Difração da Luz e Efeito Fotoelétrico.

Ao mesmo tempo, a questão reforça que, uma vez superadas as dificuldades de usabilidade, a RVI se consolida como meio eficaz para orientar o foco para as práticas epistêmicas como controlar variáveis, formular hipóteses, justificar e refletir sobre os fenômenos físicos, sem que o aparato tecnológico se torne obstáculo à aprendizagem.

Em seguida, a questão 14 buscou fazer uma avaliação global do método de aprendizagem com RVI. Isto é, como os estudantes perceberam a experiências após vivenciarem as simulações. O objetivo foi verificar a aceitação, usabilidade pedagógica e indícios de ganhos na compreensão dos fenômenos.

**Quadro 13 - Respostas de questão 14**

14. Como você descreveria a sua experiência geral com o método de aprendizagem utilizando a RVI?
A1 - Legal, achei bem dinâmico.
A2 - Gostei muito, achei didático e bem interativo.
A3 - Muito boa e inovadora.
A4 - Muito legal e interessante.
A5 - Muito imersiva.
A6 - Eu gostei bastante das aulas usando RVI, achei bastante interativo e uma maneira muito útil de realizar experimentos que na vida real são indisponíveis nos laboratórios.
A7 - Inovadora e divertida.
A8 - Achei muito legal, foi possível visualizar muitos aspectos que ficaram confusos na explicação teórica devido à dificuldade de visualização prática.
A9 - Experiência muito boa, dinâmica e metodologia boa.
A10 - A tecnologia ajudou para compreender o fenômeno da dualidade.
A11 - Versatilidade nos experimentos.
A12 - Compreender o fenômeno de forma mais dinâmica.
A13 - Conteúdos muito bem abordados com a realidade virtual.
A14 - Foi bem interessante realizar as experiências de Física utilizando a RV.
A15 - Experiência diferente e inovadora.

**Fonte: Autoria própria (2025)**

Os relatos mostram uma avaliação positiva da ferramenta RVI avaliada como dinâmica, interativa, imersiva e inovadora (A2, A5), apontando uma boa aceitação e aplicabilidade pedagógica, mostrando que a tecnologia rompe a passividade típica da aula tradicional e sustenta o engajamento contínuo.

Dessa maneira, além da receptividade geral, os estudantes relacionam a RVI a ganhos cognitivos percebidos, como aponta (A8) “visualizar aspectos que estavam confusos na explicação teórica”; (A10) “compreender o fenômeno da dualidade”; (A13) “conteúdos bem abordados”. Assim, Rizal et al, (2025), ressalta que a RVI permite que os estudantes interajam com a diversidade de fenômenos por meio de experiências tridimensionais imersivas.

Essas simulações em RVI oferecem uma vivência mais dinâmica dos fenômenos da Física Moderna, transformando conteúdos antes acessíveis apenas por teorias, fórmulas e gráficos, por experiências sensoriais e interativas. Evidenciando que o uso da RVI aumenta o engajamento, a motivação e criatividade diante os conhecimentos.

Em termos de Mediação Pedagógico-Tecnológica, indica-se a simulação RVI, sendo visualizada como (imersão, manipulação e feedback em tempo real) operadas

como artefatos mediadores que ajudam a reduzir carga extrínseca (barreiras logísticas como tempo, espaço físico, instrumentos de laboratório entre outros) e ampliando o reforço cognitivo, com foco na compreensão e reflexão crítica.

Finalmente, a questão 15 investiga como a experiência dos alunos com a RVI contribuiu para a compreensão da dualidade da luz após ter realizado as simulações de Difração e do Efeito Fotoelétrico.

#### Quadro 14 - Respostas de questão 15

15. Como a experiência com a RVI contribuiu para sua compreensão da dualidade da luz? Explique.

A1 - Foi bem visual, deu para entender bem.

A2 - Por ser um método leve de aprendizado, o conhecimento sobre o assunto vem com mais tranquilidade.

A3 - Bastante, a exemplificação do experimento ajuda a entender os conceitos teóricos.

A4 - Contribuição muito boa pela presença do equipamento que não tínhamos em sala.

A5 - Bastante, foi capaz de analisar como a variação da intensidade alterava na corrente.

A6 - A visualização de um equipamento não disponível nos laboratórios da faculdade para a visualização do experimento de maneira dinâmica.

A7 - Contribui na parte prática de conceitos teóricos.

A8 - Acredito que foi bem legal. Consegui visualizar como tudo ocorre e funciona.

A9 - Ajudo a refletir sobre as teorias que mostram essa dualidade.

A10 - A imersão ajudou compreender o fenômeno da dualidade.

A11 - Bem didático e visual.

A12 - Foi legal ver como a luz interage dependendo do experimento.

A13 - A profundidade Física e conteúdo muito bem abordado experimentalmente.

A14 - Visualizar como os comprimentos de onda utilizado, se pode visualizar o efeito fotoelétrico.

A15 - Interessante conhecer como pode acontecer essa dualidade onde percebemos a luz como onda e partícula.

**Fonte: A autoria própria (2025)**

As respostas revelam uma percepção bastante favorável e positiva, orientada a uma grande probabilidade de ampliar os conhecimentos em relação aos fenômenos estudados. Alguns alunos enfatizaram a visualização dos fenômenos e nas ideias proporcionadas pela RVI. Analisando algumas respostas como “foi bem visual, deu para entender bem”; “bem didático e visual” (A1, A8, A11); bem como a ponte entre teoria e prática “a exemplificação do experimento ajuda a entender os conceitos teóricos”; “contribui na parte prática de conceitos teóricos” (A3, A7, A13). Reafirmando que a tecnologia remove barreiras logísticas e desloca o esforço cognitivo para o raciocínio físico relacionados com experimentação e teoria.

Dessa forma, envolver-se com conceitos que abordam fenômenos subatômicos e realidades que transcendem a experiência sensorial direta constitui um campo do conhecimento que impõe consideráveis barreiras cognitivas aos alunos. Nesse contexto, as simulações imersivas podem contribuir significativamente para tornar visível o invisível, ampliando a compreensão e o engajamento de conteúdo de difícil assimilação (Jiugen et al, 2020).

No aspecto do conteúdo, emergem evidências de que a RVI ajudou a demarcar os dois modelos da dualidade, representado no primeiro momento nos padrões/ângulos (difração) que dá noções do modelo ondulatório da luz. Por outro lado, nas interações da luz com metais, frequência/comprimento de onda e corrente fotoelétrica, que remete a interpretações da luz como partícula (A5, A12, A14, A15). Em particular, (A5) observa que variações de intensidade alteram a corrente, sendo coerente com o Efeito Fotoelétrico em quanto mais fótons atingindo a placa de metal, se obtém mais elétrons emitidos, o que resulta em maior corrente elétrica.

Esses relatos sugerem que a RVI tornou visíveis os vínculos entre parâmetros manipulados e observáveis, facilitando a passagem do “ver” para o “explicar”. Em suma, é possível pensar que as simulações imersivas permitem aos alunos uma visualização interativa dos fenômenos promovendo maior motivação e curiosidade para o aprendizado, reduzindo a carga altamente abstrata e aumentando significativamente a eficácia do aprendizado quando comparado com métodos tradicionais de ensino.

### 6.2.1 Análise geral do estudo sobre a aplicação da simulação RVI

A utilização da simulação nos processos de ensino-aprendizagem, particularmente no conteúdo da Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico, revelou seu potencial como instrumento didático capaz de mediar conhecimentos da Física Moderna. Mesmo em um ambiente virtual, essa ferramenta possibilita ao aluno refletir sobre a ocorrência desses fenômenos na realidade físico-natural. Na perspectiva de Vygotsky, a simulação RVI pode ser compreendida como um instrumento mediador-simbólico que, ao permitir a representação e simulação de conteúdos físicos, contribui para o reforço da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) do aluno.

Ao mesmo tempo, considera-se importante realizar um planejamento didático por parte do professor, onde ele crie representações didáticas olhando para os procedimentos e os objetivos de uma determinada atividade, ou seja, no caso da simulação RVI, mesmo que o aluno tenha a oportunidade de realizar a simulação de maneira individual, as instruções iniciais feitas pelo professor vão permitir um reforço sociointeracionista desde as explicações do conteúdo teórico e da utilização dos instrumentos de hardware e software, até abordagens e análises feitas grupalmente, fortalecidas por essas interações humanas, com professor e colegas, a partir da vivência virtual.

A mediação, segundo Leonir, (2009), se expressa em duas dimensões interdependentes: a mediação cognitiva, que conecta o sujeito ao objeto de conhecimento, e a Mediação Pedagógico-Didática, na qual o professor atua intencionalmente para criar condições que favoreçam essa conexão. Essa segunda dimensão não apenas orienta o percurso da aprendizagem, como também possibilita ao estudante acionar seus próprios processos mentais em direção aos desenvolvimentos cognitivos superiores.

Por outro lado, no sentido de aprendizagem, os resultados mostraram que os alunos conseguiram visualizar e compreender os fenômenos, bem como os elementos das simulações interagem, ao permitir sair um pouco do abstrato e teórico sobre o conteúdo específico dentro da simulação para chegar ao aprendizado dos fenômenos físicos da natureza.

Da mesma forma, ao olhar para as dificuldades relatadas, que foram majoritariamente operacionais e introdutórias (familiarização com comandos/controles e navegação). Uma possível causa disso é que ainda não é comum a utilização da RVI no sistema educativo e particularmente por diversas situações de políticas públicas, formação técnica de docente, alto custo dos dispositivos tecnológicos e complexidade do desenvolvimento de simulações sobre outros conteúdos, dentre outras.

Por conseguinte, o achado é coerente com o diagnóstico inicial de haver pouca experiência prévia com RVI e reforça a importância, na educação atual, de proporcionar mais oportunidades de explorar a ferramenta e estudar suas aplicações no contexto educativo. Além disso, os estudos de Rizal et al, (2025) e Stracke et al,

(2025), chamam atenção para aspectos desafiadores da mediação: o preparo dos estudantes e professores, a infraestrutura tecnológica disponível e a ausência de metodologias padronizadas para a aplicação da RVI na prática educativa.

De fato, o papel do educador é fundamental para ativar a ZDP, conceito de Vygotsky que descreve o espaço entre o que o aluno já domina e aquilo que pode aprender com o auxílio de um mediador, seja o professor junto com o instrumento de apoio e os colegas de turma. Dessa maneira é possível pensar no desenvolvimento cognitivo facilitado como resultado da articulação entre a Mediação Pedagógico-Tecnológica e o conteúdo específico trabalhado, sem esquecer o papel importante do professor.

Ao integrar estratégias didáticas intencionais com a utilização das ferramentas tecnológicas como a RVI, o professor amplia as possibilidades de intervenção na ZDP do aluno, possibilitando que conceitos abstratos sejam compreendidos. Assim, a aprendizagem deixa de ser apenas receptiva e passa a ser intencionalmente ativa e interativa, promovendo um avanço cognitivo de aprendizagem.

Dos resultados obtidos com a aplicação da simulação RVI para o estudo da Dualidade Onda-partícula/Efeito Fotoelétrico permitiram compreender como a simulação criada nesta tese pode ser considerada como instrumento eficaz e eficiente de mediação capaz de representar os fenômenos estudados, que habitualmente ainda são abordados de maneira abstrata, e com pouca ou nenhuma utilização de simulações virtuais para que os estudantes possam visualizar, manipular variáveis e refletir sobre os conteúdos.

A experiência da simulação pode ser interpretada a partir da tríade professore-aluno-artefatos mediadores. Nessa perspectiva, o professor ocupa o lugar de mediador principal; o estudante, como sujeito em processo de aprendizagem; e a simulação em RVI, enquanto ferramenta simbólica e tecnológica, que também atua como instrumento mediador. Ao inserir a RVI nessa estrutura, é possível concebê-la como um instrumento mediador-simbólico que contribui para a ativação da ZDP dos alunos, uma vez que a interação com o ambiente imersivo demonstra ampliar aquilo que os alunos conseguem compreender com apoio do professor, dos colegas e dos recursos digitais envolvidos.

A simulação RVI foi estruturada, considerando-a ser uma ferramenta de mediação pedagógica que possibilita ao estudante acionar seus próprios processos mentais acelerando o seu desenvolvimento cognitivo. Nesse contexto, o papel do professor, como parte principal no desenvolvimento da proposta, é fundamental para ativar a ZDP, conceito de Vygotsky que descreve o espaço entre o que o aluno já domina e aquilo que pode apreender com o auxílio de mediadores, seja ele o professor ou instrumentos culturais. (Lenoir, 2009). Assim, a simulação é concebida considerando o professor como mediador principal ao momento de integrar de forma pedagógica e didática as interrelações em todas as fases da aprendizagem.

As simulações segundo Vieira e Brazão (2022), quando utilizadas de maneira planejada e crítica, funcionam como instrumento de mediação entre o conhecimento científico e a aprendizagem do aluno, colocando-o em uma posição ativa de investigação e experimentação. Ao integrar os fundamentos da mediação Vygotskiana com as potencialidades da RVI, indicam que ela pode permitir a construção de modelos didáticos com objetivos claros, sequência de exploração e momentos de análise. Possibilitando que a simulação não seja apenas um recurso tecnológico interessante, mas parte de uma estratégia pedagógica voltada à compreensão do fenômeno físico.

Como a maioria das tecnologias, desde a perspectiva de criação e aplicação, a RVI representa desafios. Durante essa primeira aplicação, percebeu-se que é necessário considerar que nem todos os participantes dominam ou conhecem a ferramenta, o que dificulta no início das atividades uma maior fluidez na utilização da RVI. A partir dessa percepção, considera-se necessária a aplicação de roteiros de explicações prévias à aplicação da simulação para deixar as atividades o mais didático possível.

Os resultados do uso da RVI sugerem que, isoladamente, não garantem aprendizagem significativa. A ferramenta se torna formativa e didática quando é integrada ao planejamento que articula instruções prévias, objetivos de uso, exploração guiada e discussões posteriores. As interações entre professor e aluno, ferramenta tecnológica e aluno; aluno com seu colega após a experiência imersiva, reforçam as explicações, esclarecem dúvidas e possibilitam reconstruções conceituais em grupo que levam ao melhor aprendizado individual.

Tais desafios podem ser superados com propostas de pesquisas que avaliem e desenvolvam projetos onde as tecnologias de simulações RVI estejam mais presentes no sistema educacional, ademais de oferecer formação continuada aos professores para o desenvolvimento e utilização nas salas de aula. Esse ponto conduz à noção de Mediação Pedagógico-Tecnológica, entendida como uma articulação intencional entre as dimensões pedagógicas e tecnológicas, orientadas no conteúdo específico ao sucesso das práticas de ensino.

Portanto, pode-se dizer que o sucesso da utilização da RVI como instrumento de mediação Pedagógico-Tecnológica é notório quando ela é planejada e empregada com intencionalidade e objetivos didáticos específicos, especialmente para o aprendizado de conteúdos abstratos como a Dualidade Onda-Partícula. Nesse contexto, a RVI contribui para transformar a aprendizagem de predominantemente receptiva para uma abordagem significativamente mais ativa e interativa. Assim, para o estudo da Dualidade Onda-Partícula, os alunos não apenas recebem informações, mas são capacitados a explorar, testar hipóteses, observar variações de parâmetros e estabelecer conexões diretas entre o que visualizam na simulação, as explicações teóricas prévias e a compreensão dos complexos fenômenos reais da natureza, promovendo um marcante movimento de desenvolvimento cognitivo e solidificando o entendimento desse tópico fundamental da Física.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese teve como ponto de partida a questão central sobre como a implementação de uma simulação em Realidade Virtual Imersiva (RVI), fundamentada na Mediação Pedagógico-Tecnológica, contribui para o processo de ensino e aprendizagem da Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico no contexto da Física Moderna. Ao tentar respondê-la, percebeu-se que existem diversas formas de abordar tecnologias nos processos de ensino. Evolvendo desde a revisão bibliográfica, análise crítica do referencial teórico, da criação da simulação até a avaliação e resultados da aplicação.

Levando isso em consideração, foi possível, no início da pesquisa, realizar uma revisão de artigos publicados que abordaram a utilização da realidade virtual e como é compreendida e aplicada no ensino de Física, e, mais especificamente no que se refere a Física Moderna e ao fenômeno estabelecido como central nesta pesquisa.

Realizou-se uma primeira revisão bibliográfica, onde identificou-se 84 artigos provenientes de diversas áreas de conhecimento. Entretanto, apenas 12 artigos foram identificados sobre o ensino de Física para a revisão detalhada e análise crítica. Nessa revisão, constatou-se que 60% dos artigos estão centrados no ensino da Física Clássica, enquanto 40% restantes abordaram conteúdos relacionados ao ensino de Física Moderna, sem, no entanto, abordarem o fenômeno da Dualidade da Luz.

As análises apontam para a existência de pesquisas que utilizam a tecnologia de realidade virtual, tentando simular diferentes conteúdos nos processos de ensino de Física. Mostra também que o avanço na utilização desse tipo de recurso tecnológico foi implementado e ampliado devido às necessidades que a pandemia da Covid-19, desde o seu início em 2020, desencadeou no ensino remoto. Portanto, houve motivos para adequação e adaptação das estratégias didáticas nas escolas, faculdades e universidades. Muitas das pesquisas analisadas abordaram a implementação de tecnologias educacionais, com aplicações que vão do ensino primário ao superior, apresentando assim, diversos usos da realidade virtual para o ensino da Física Moderna.

No entanto, continuou existindo uma lacuna na investigação relativa a tais processos educativos no ensino superior, particularmente no domínio dos conteúdos quânticos.

Apesar do considerável avanço nas aplicações da realidade virtual, é evidente que as pesquisas envolvendo o uso da RVI para fins educacionais ainda são relativamente limitadas. A realidade virtual é altamente interdisciplinar e complexa, as soluções tecnológicas desenvolvidas para atender às demandas educacionais são geralmente desenvolvidas por pesquisadores das áreas de tecnologia e computação, e enfrentam desafios adicionais por esse motivo. Além das questões tecnológicas, há também desafios pedagógicos, de engenharia, ergonomia, design, avaliação e desenvolvimento de conteúdos. No entanto, o uso da RVI, como ferramenta didática bem elaborada pode contribuir significativamente para a aprendizagem.

Desta forma, foi realizada uma revisão sobre a corrente construtivista, considerando alguns de seus postulados básicos, citando um dos primeiros autores do construtivismo, Lev Vygotsky, passando a ser estudando nas implicações para a pedagogia como processo de ensino da Física. Considera-se finalmente o desempenho das atividades através do qual o estudante pode ter acesso às informações que o professor deseja compartilhar, e assim, ampliar seus conhecimentos sobre um determinado conteúdo, o que favorecerá para sua adaptação ao meio que o cerca e nas interações sociais que favorecem o aprendizado.

Com relação ao produto educacional, foi criado dois processos experimentais em uma sala de laboratório virtual onde cada objeto foi modelado em 3D. Ocorreu um processo de criação, realização de testes, recriação e aperfeiçoamento dos objetos 3D e da programação na RVI. Uma das ideias iniciais estimulou estudar o fenômeno da Dualidade Onda-Partícula por meio da Difração de luz com o processo teórico-prático de Tomas Young, através de uma estrutura experimental, onde foi considerada a difração de uma lâmpada de mercúrio para o processo de seleção de comprimento de onda, onde o objetivo foi entender o caráter ondulatório da luz e encontrar a frequência de onda da lâmpada e, na sequência, testar nesse arranjo experimental o fenômeno do Efeito Fotoelétrico.

Nessa segunda experiência pode-se observar e estudar alguns fatores como a frequência de corte, a corrente elétrica gerada e o potencial de corte, além de poder visualizar a relação de proporcionalidade entre a intensidade da luz e a corrente gerada na interação da radiação da luz com as placas de diferentes metais, considerando o arranjo experimental de Philipp Lenard. Com relação ao cenário criado na simulação, apresenta-se um lugar comum (sala de aula experimental virtual imersiva), sem muitas distrações que poderiam tirar o foco do aluno.

As interações nos experimentos, como variáveis Físicas dentro da simulação RVI, foi realizada por meio de algoritmos de programação. Mas com a finalidade de estabelecer relações entre fenômenos físicos que acontecem em nível subatômico, juntamente relacionando-os com modelos chamados de “real” e que se estudam em diversos materiais didáticos. São representados os fenômenos quânticos aceitos pela comunidade científica, mas levando-se em consideração essa visão do que é realidade, modelagem virtual, simulação de RVI como instrumento de Mediação Pedagógico-Tecnológica para os processos de ensino e aprendizagem.

Considerando isso, foi levantada uma nova questão problema: analisar se é possível considerar a RVI como instrumento de Mediação Pedagógico-Tecnológica nos conceitos abstratos da Física Moderna. Levando em consideração todo o estudo teórico, tanto na visão de mediação Vygotskiana até a utilização da RVI na Física Moderna, foi possível pensar em um modelo de aprendizagem onde se discute essa mediação focando a RVI como instrumento mediador de conhecimentos abstratos até sobre como os processos de criação de simulações podem ser utilizados para fazer abordagem simbólicas que representem o fenômeno físico em estudo.

Na sequência, procurou-se atualizar referências bibliográficas entre os anos (2023-2025) com o objetivo de localizar estudos que abordassem pesquisas educacionais mais recentes que utilizam a RVI, como ferramentas pedagógica nos processos de ensino de Física e na Física Moderna. Como resultado dessa busca, foi possível perceber que existe uma preocupação por parte de educadores, de professores que se interessam no sistema educativo em adaptar à realidade virtual como ferramenta de ensino.

Como parte desses resultados, se evidenciou uma crescente valorização dessa tecnologia como recurso didático no ensino de ciências, e especialmente na

Física. Estudos como os de Mufit et al. (2024) e Tarng e Pei (2023) destacam o potencial da RVI para a visualização de fenômenos abstratos da Física Quântica.

Além disso, os estudos de Rizal et al. (2025) e Stracke et al. (2025) chamam atenção para aspectos estruturantes da mediação: o preparo dos estudantes e professores, a infraestrutura tecnológica disponível e a ausência de metodologias padronizadas para a aplicação da RVI na prática educativa. No entanto, essas dificuldades estão relacionadas com a criação ou falta de conhecimentos técnicos para desenvolver tais projetos.

Nesse sentido, quando foram estudados esses trabalhos que abordaram conteúdos na Física Moderna, sendo que a maioria deles tinham o foco na produção e desenvolvimento das simulações, faltando fundamento específico dentro das teorias pedagógicas de aprendizagem, o que pode influenciar nos resultados de aplicação da ferramenta.

Permitindo assim, pensar em uma proposta teórica, relacionando a mediação pedagógica e tecnológica, focando na RVI como uma ferramenta de mediação de conhecimentos abstratos. Mostrando como resultado o modelo de Mediação Pedagógico-Tecnológica do Conhecimento Específico (MPTCE), que representa uma proposta didática para o ensino de conteúdo específicos da Física Moderna, destacando a importância de integrar criticamente os recursos tecnológicos às práticas pedagógicas.

Essa articulação possibilita a promoção de desenvolvimento cognitivo, onde o aluno não só recebe informações, mas também participa ativamente da construção do conhecimento, permitindo desenvolver-se em habilidades cognitivas superiores e ampliando a compreensão conceitual.

A proposta do modelo teórico e didático MPTCE, traz uma possibilidade prioritariamente para o professor de compreender os processos que envolvem a utilização de uma ferramenta tecnológica, que, sendo abordada em cada componente teórico e prático, se inter-relacionam para formar uma estratégia que facilite um planejamento didático, pensado para melhorar os processos de ensino-aprendizagem. Podendo ser testado e estudado em pesquisa futuras, sendo referência para pesquisas não só para o Ensino de Física, mas em qualquer pesquisa que envolva aplicação de alguma ferramenta tecnológica no Ensino.

A simulação RVI foi primeiramente avaliada por um grupo de professores da área de Física/Ensino. Desse estudo, os resultados indicam que a simulação pode constituir-se como um instrumento Pedagógico-Tecnológico coerente com os conteúdos da Dualidade Onda-Partícula. Nas três categorias analisadas no questionário pelos professores participantes destacam-se que a simulação favorece a articulação entre a teoria e experiência virtual, sendo um material que pode auxiliar na superação das dificuldades ligadas ao caráter abstrato dos conteúdos trabalhados.

Esse conjunto de evidências reforça as ideias de que a RVI pode ser integrada ao contexto escolar como recurso didático, considerando estar bem alinhado a objetivos de aprendizagem específicos, sem substituir ao professor, mas ampliando as possibilidades de mediação. Ainda que se tratou de um grupo relativamente pequeno de avaliadores, essa etapa oferece indícios de que a proposta alcançou os objetivos desejados e que pode ser escalável para outros conteúdos de Física em futuras pesquisas, desde que sejam integradas as sequências didáticas planejadas, nas quais o professor mantenha o papel central de organizar, problematizar e conduzir a experiência formativa.

Sobre os resultados após a aplicação com alunos, nas respostas dos questionários relataram-se que a experiência imersiva os ajudou na visualização e compreensão dos fenômenos estudados, tornando-os menos abstratos, que tradicionalmente permanecem no campo teórico. A luz da perspectiva Vigotskiana, a simulação é compreendida como um instrumento de mediação simbólico que integra a tríade professor-aluno-simulação, contribuindo para a ativação da ZDP ao articular conhecimentos prévios, exploração do ambiente virtual e a retomada conceitual por parte do professor.

Ao mesmo tempo, os resultados reforçam que a RVI isoladamente, não garante aprendizagem significativa, sua potência formativa no ensino emerge quando é incorporada a um planejamento didático intencional, com instruções prévias, objetivos claros, exploração guiada e momentos de análise coletiva após a vivência imersiva por cada aluno.

Por outro lado, foi importante para esta pesquisa o planejamento desde os levantamentos bibliográfico, o planejamento e a criação da simulação RVI, passando pela avaliação por especialistas e aplicabilidade com os alunos, até a reflexão teórica

para interpretar a ferramenta como Mediação Pedagógico-Tecnológica no ensino. A experiência e dados apresentados indica que a RVI não é apenas um recurso tecnológico, mas pode ser concebida como um instrumento didático capaz de articular teoria e experimentação, com o objetivo de superar os níveis de abstração conceitual e potencializar a ZDP dos alunos na abordagem da Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico.

De modo geral, os resultados obtidos reforçam a importância de investir em propostas que integrem intencionalidade pedagógica e tecnológica imersivas, apontando caminhos para que futuras pesquisas e práticas educativas que expandam o uso da RVI na sala de aula. Também este estudo pode motivar os educadores e investigadores a explorarem a utilização da RVI como instrumento didático nas diversas áreas de ensino.

É importante considerar o desenvolvimento do modelo MPTCE como fundamental teoricamente e na prática de ensino, que precisa ser utilizado pelos professores e desenvolvedores de aplicações RVI para, então, proporcionar um efetivo desenvolvimento de novas simulações a partir da tecnologia aplicada à educação como possibilidade de metodologia didático-pedagógica construtivista Vigotskiana. Isso poderá levar ao desenvolvimento de experiências de aprendizagem mais ativas, imersivas e envolventes para os alunos, capazes de melhorar os resultados de aprendizagem, além de incorporar tecnologias da educação atual, favorecendo a difusão da cultura educacional global.

## **7.1 Entrave e desafios**

Considera-se importante explicitar alguns entraves e desafios encontrados durante o percurso de desenvolvimento desta tese, deixando algumas ideias para que futuras pesquisas possam ir além das propostas aqui apresentadas. Segundo Beck et al, (2023), sinalam que existe vários desafios e limitação ao respeito da utilização de ambientes virtuais de aprendizagem imersivos na educação. Um dos desafios pode ser a falta de formação adequadas e aplicações coerentes ao MPTCE de abordagens pedagógicas que conduzam a resultados de aprendizagem satisfatórios. Além disso,

a diversidade de aspectos tecnológicos, técnicos e didáticos pode dificultar as estratégias mais eficazes para a utilização de ambientes imersivos.

O desenvolvimento da simulação em RVI exigiu esforços técnicos e estruturalmente significativos, envolvendo longo tempo de preparação, domínio das ferramentas específicas como (Unity, Blender 3D e plataforma dos óculos *Meta Quest*) que foram superadas progressivamente até obter o produto final. Com o objetivo claro de associar a simulação como uma ferramenta de mediação para melhorar a compreensão do conteúdo específico da Dualidade da Luz.

Foi importante considerar os dispositivos de hardware disponíveis, no caso específico dos óculos Meta Quest, considerando seus custos ainda elevados, e que faz com que o número de dispositivos nas instituições de ensino sejam ainda poucos, o que coloca limites na sua disseminação da simulação em larga escala. Mas, espera-se que esta pesquisa sirva de motivação para pesquisas futuras nesta área de investigação.

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa contou com um número relativamente pequeno de participantes, tanto no grupo de especialistas quanto na turma onde foi aplicada a simulação. A aplicação ocorreu em um contexto específico, com certo nível de familiaridade previa com a Física Moderna. Esses fatores podem limitar a generalização dos resultados, indicando a necessidade de pesquisas futuras com amostras mais amplas para aprofundar a compreensão sobre os impactos das RVI como instrumento de Mediação Pedagógico-Tecnológica.

Durante as aplicações da simulação com os alunos, as maiores dificuldades observadas foram, na sua maioria, operacionais (familiarização com comandos, navegação e uso dos óculos), o que condiz com o cenário ainda incipiente de uso de tecnologias imersivas nas escolas e instituições de ensino, marcadas por limitações de infraestrutura, custos dos equipamentos e falta de formação específica dos professores.

Esses desafios indicam a necessidade de investir em formação continuada e em projetos que aproximem a RVI do cotidiano escolar. Ainda assim, os achados sugerem que, quando planejada como parte de um modelo didático-teórico, como o apresentado nesta pesquisa, o modelo MPTCE e a simulação em RVI favorecem uma aprendizagem mais ativa e investigativa, na qual os alunos não apenas recebem

informações, mas explorem, testem hipóteses, manipulem variáveis e conectem o que veem no ambiente virtual às explicações teóricas, caracterizando um movimento efetivo de desenvolvimento cognitivo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Victor Hugo Körting de; OLIVEIRA, Márcia Gonçalves de; BATTESTIN, Vanessa. Ambientes imersivos na educação: uma aula de ciências explorando os planetas em realidade virtual. In: Congresso Internacional de Educação e Tecnologias; encontro de pesquisadores em educação a distância (**CIET:EnPED**), 2020, São Carlos. Anais do CIET:EnPED:2020. São Carlos: Grupo Horizonte (SEaD/UFSCar), 2020. ISSN 2316-8722. Disponível em: <https://cietenped.ufscar.br/submissao/index.php/2020/article/view/1220>. Acesso em: 05 abr. 2023.

AFONSO, Germano Bruno; MARTINS, Caroliny Capetta; KATERBERG, Luciana Poniewas; BECKER, Thiana Maria; SANTOS, Vanessa Carla dos; AFONSO, Yuri Berri. Potencialidades e fragilidades da realidade virtual imersiva na educação. **Revista Intersaberes**, [S. l.], v. 15, n. 34, 2020. DOI: 10.22169/revint.v15i34.1800. Disponível em: <https://doi.org/10.22169/revint.v15i34.1800>. Acesso em: 29 jan. 2026.

ANDERSON, Nathan. Among Us has gained popularity during the pandemic. **mxdwn Games**, 19 out. 2020. Disponível em: <https://games.mxdwn.com/news/among-us-has-gained-popularity-during-the-pandemic/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

ARAYA, Valeria; ALFARO, Manuela; ANDONEGUI, Martín. Constructivismo: orígenes y perspectivas. Laurus: **Revista de Educación**, Caracas, v. 13, n. 24, p. 76-92, maio/ago. 2007. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76111485004>. Acesso em: 5 fev 2023.

BECKMANN, Ana Raquel. Tapete pedagógico: um recurso didático para introduzir o ensino de ciências e matemática na educação infantil. 2021. **Tese** de Doutorado. Universidade Franciscana. Santa Maria. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/601940/2/PRODUTO%20EDUCACIONAL.pdf>. Acesso em: 12 de outubro de 2023.

BLENDER. Disponível em: <https://www.blender.org/>. Acesso em: 17 jul. 2023.

BOWMAN, Doug A.; KRUIJFF, Ernst; LAVIOLA JR., Joseph J.; POUPYREV, Ivan. **3D user interfaces: theory and practice**. Boston: Addison-Wesley, 2005. ISBN 0-201-75867-9. Disponível em: <https://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780201758672/samplepages/0201758679.pdf>.

BRAGA, Mariluci. Realidade virtual e educação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2001. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50010104>. Acesso em: 16 mai. 2023.

BRITO, Allan. **Blender 3D: Guia do Usuário** / Allan Brito. -- 4. Ed. Rev. e Ampl. São Paulo: Novatec Editora, 2010.

BRITO, Rosângela Nunes; BEZERRA, Antonia Karine Silva; SANTOS, Bruno Benjamim dos; SANTOS, Giuliani Câmara dos; CANTARELI, Kelly Fernanda Moreira; CIPRIANI, Roberto Carlos; DIAS, Romilda Alves Rodrigues; CABRAL, Valéria Corrêa Calixto. Tecnologias e mediação pedagógica em experiências com plataformas educacionais. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação (REASE)**, São Paulo, v. 11, n. 7, p. 2100-2109, jul. 2025. DOI: 10.51891/rease.v11i7.20412. Disponível em: <https://doi.org/10.51891/rease.v11i7.20412>. Acesso em: 22 sep. 2025

CALDEIRA, Maria Carolina da Silva. “Alfabetização baseada em evidências: da ciência para a sala de aula”: qual ciência? qual sala de aula? **Revista Brasileira de Educação**, v. 29, e290121, 2024. DOI: 10.1590/S1413-24782024290121. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-24782024290121>. Acesso em: 13 sep. 2025.

CASTAÑÓN, Gustavo Arja. O que é construtivismo? **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, **Série 4**, v. 1, n. 2, p. 209-242, jul./dez. 2015. Disponível em: <https://www.cle.unicamp.br/eprints/index.php/cadernos/article/view/744/627>. Acesso em: 17 jul. 2023.

CASTAÑÓN, Gustavo Arja. O QUE É CONSTRUTIVISMO? **Revista Caderno. História. Filosofia. Ciência.**, Campinas, Série 4, v. 1, n. 2, p. 209-242, jul.-dez. 2015.

COELHO, R. O uso da informática no ensino de Física de nível médio. Dissertação (**Mestrado em Educação**) - Faculdade de Educação. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 2022. Disponível em: [http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/coelho/inf\\_ens\\_fis\\_med.pdf](http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/coelho/inf_ens_fis_med.pdf). Acesso em: 22 ago. 2023.

CONFREY, Jere. What constructivism implies for teaching. In: DAVIS, Robert B.; MAHER, Carolyn A.; NODDINGS, Nel (Org.). *Constructivist views on the teaching and learning of mathematics*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics, 1990. p. 107-124. (**Journal for Research in Mathematics Education: Monograph**, n. 4). ISBN 0-87353-300-3.

COSTA, Carmen Sílvia da; FOFONCA, Eduardo. Mediação tecnológica e a aprendizagem em AVA: relevâncias educacionais no contexto da educação on-line. In: **CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (EDUCERE), 13., 2017, Curitiba. Anais...** Curitiba: PUCPR, 2017. Disponível em: [https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2017/24849\\_12161.pdf](https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2017/24849_12161.pdf). Acesso em: 27 jan. 2023

CRESWELL, J.W. PLANO, Clark, V. *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). LA: Sage. 520 p. **Texas A&M University**, College Station, TX, USA DOI: 10.1177/1937586719832223. 2017.

Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1240624.1240784>. Acesso em: 27 jan. 2026.  
EINSTEIN, Albert. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. **Annalen der Physik**, v. 322, n. 6, p. 132-148, 1905. DOI: 10.1002/andp.19053220607. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/andp.19053220607>. Acesso em: 14 abr. 2023.

EISBERG, Resnick; RESNICK, R. **Física Quântica**. Tradução de Ribeiro PC, Silveira EF e Barroso, MF. Rio de Janeiro. Editora Campus, 1994.

EISBERG, Robert M. **Fundamentos de Física moderna**. Versión autorizada en español de la obra publicada en inglés con el título: Fundamental of modern physics. John Wiley e Sons,nc. Editorial limusa, s.a. Grupo Noriega Editores Baloeras 95, méxico, D.F. 8va Edição. 2000.

FILHO, Paulo de Sá; DIAS, Raqueline da Silva. Realidade virtual e aumentada: uma metodologia ativa a ser utilizada na Educação. **Revista Com Censo: Estudos Educacionais do Distrito Federal**, Brasília, DF, v. 6, n. 4, p. 94-101, nov. 2019. Disponível em: <https://periodicos.se.df.gov.br/index.php/comcenso/article/view/741>. Acesso em: 27 jan. 2024.

FIOLHAIS, Carlos; TRINDADE, Jorge. Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 259-272, set. 2003. DOI: 10.1590/S1806-11172003000300002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172003000300002>. Acesso em: 15 de jan 2023.

FRANÇA, Carlos Roberto; SILVA, Tatiana da. **A utilização da Realidade Virtual e Aumentada no Ensino de Ciências no Brasil**. 2019. Disponível em <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R1209-1.pdf>. Acesso em 19 ago. 23.

FRANÇA, Carlos Roberto; SILVA, Tatiana. A Realidade Virtual e Aumentada e o Ensino de Ciências. **Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC)**, Manaus, v. 5, n. 10, p. 193-215, mar. 2019. Edição especial. DOI: 10.31417/educitec.v5i10.414. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/view/414>. Acesso em: 27 jan. 2026.

GARCÍA, Camino López; ORTEGA, Carlos Alberto Catalina; ZEDNIK, Herik. Realidade Virtual e Aumentada: estratégias de metodologias ativas nas aulas sobre meio ambiente. **Informática na Educação: teoria & prática**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 46-59, jan./abr. 2017. DOI: 10.22456/1982-1654.70613. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1982-1654.70613>. Acesso em: 08 jan. 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184 p. ISBN 9788522458233.

GREGORY, Jason. Game engine architecture. 2. ed. Natick, MA: A K Peters/CRC Press, 2014. ISBN 978-1466560017.

GUIMARÃES JUNIOR, José Carlos, et al. Desenvolvimento cognitivo e tecnologias educacionais. **Revista Aracê**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 1, p. 142-155, 2024.

DOI: 10.56238/arev6n1-008. Disponível em:

<https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/578>. Acesso em: 21 abr. 2025.

GUMSTER, Jason van. **Blender for dummies**. 2. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011.

HALLIDAY, D. Resnick, R. Walker, J. **Fundamentos de Física**. Vol. 4 - Ótica e Moderna. 10.ed. Rio de Janeiro, LTC, 2016.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Vol. 1 – Mecânica. 10.ed. Rio de Janeiro, LTC, 2015.

HEISENBERG, W., **The Physical Principles of the Quantum Theory**, (Univ. of Chicago Press, Chicago), 1930.

HENDRY, John. The development of attitudes to the wave-particle duality of light and quantum theory, 1900–1920. *Annals of Science*, [S. l.], v. 37, n. 1, p. 59-79, 1980.

DOI: 10.1080/00033798000200121. Disponível em:

<https://doi.org/10.1080/00033798000200121>. Acesso em: 29 jul. 2023.

JIUGEN, Yuan; Jing Yang; RUONAN, Xing. Pesquisa de design de experimento virtual baseado em tecnologia de realidade virtual. In: **2020 15th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE)**, Delft, Holanda, 2020.

Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICCSE49874.2020.9201890> Acesso em: 12 ago. 2024.

JOHNSEN, Kyle; RAIJ, Andrew; STEVENS, Amy O.; LIND, D. Scott; LOK, Benjamin. The validity of a virtual human experience for interpersonal skills education. In: SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS (CHI '07), 2007, San Jose, CA, Estados Unidos. **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '07)**. New York: Association for Computing Machinery, 2007. p. 1049-1058. DOI: 10.1145/1240624.1240784.

JÚLIO, Edgar Magalhães; DONAT, Heldo. As concepções das aplicações da mediação tecnológica na educação. **Semana Acadêmica**, 2024. Disponível em:

<https://semanaacademica.org.br/artigo/concepcoes-das-aplicacoes-da-mediacao-tecnologica-na-educacao-0>. Acesso em: 6 de maio 2025.

KIRNER, Cláudio; SISCOOTTO, Robson Augusto. **Fundamentos de realidade virtual e aumentada**. In: KIRNER, Cláudio; SISCOOTTO, Robson Augusto (org.). *Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações*. Porto Alegre: SBC,

2007. p. 2-21. (Livro do Pré-Simpósio do IX *Symposium on Virtual and Augmented Reality*, Petrópolis, RJ, 28 maio 2007.

KLASSEN, Stephen. The photoelectric effect: reconstructing the story for the physics classroom. **Science e Education**, v. 20, n. 7–8, p. 719-731, 2009. DOI: 10.1007/s11191-009-9214-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11191-009-9214-6>. Acesso em: 29 ago. 2023.

KOZHEVNIKOV, A., La formula de fluctuación de Einstein y la Dualidad Partícula–Onda, **Revista El tambor de Feynman** 3, 19-41. 2021.

LAUX, L. C. P. D.; SCHLEMMER, E. Anatomia no metaverso Second Life: colaboração e cooperação interdisciplinar e interinstitucional. In: **CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO**, 8., 2011, São Leopoldo. Anais do VIII Congresso Internacional de Educação. São Leopoldo: Programa de Pós-Graduação em Educação, Unisinos.

LAVALLE, Steven M. **Virtual reality**. Oulu: University of Oulu, 2020. Disponível em: <http://lavalle.pl/vr/>. Acesso em: 13 jun. 2024.

LEE, S. W. Y.; HSU, Y. T.; CHENG, K. H. Do curious students learn more science in an immersive virtual reality environment? Exploring the impact of advance organizers and epistemic curiosity. **Computers & Education**, v. 182, e104456, 2022. DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104456. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104456>. Acesso em: 19 mai. 2024.

LEE, Silvia Wen-Yu; HSU, Ying-Tai; CHENG, Kun-Hung. Do curious students learn more science in an immersive virtual reality environment? Exploring the impact of advance organizers and epistemic curiosity. **Computers & Education**, v. 182, p. 104456, jun. 2022. DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104456. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104456>. Acesso em: 19 jan. 2023.

LEMOS. A. **Cibercultura tecnologia e vida na cultura contemporânea**. Porto Alegre: Editora Sulina, 2022. Disponível em: <https://facom.ufba.br/civerpesquisa/andrelemos/ciberculturapdf>. Acesso em 27 de nov. de 2023.

LENARD, Philipp Eduard Anton von. Über die lichtelektrische Wirkung. **Annalen der Physik, Leipzig**, v. 313, n. 5, p. 149-198, 1902. DOI: 10.1002/andp.19023130510. Disponível em: [https://grundpraktikum.physik.uni-saarland.de/gpalt/Anleitungen/Ergaenzungen/J1\\_Papers/Photoeffekt%20-%20Lenard\\_1.pdf](https://grundpraktikum.physik.uni-saarland.de/gpalt/Anleitungen/Ergaenzungen/J1_Papers/Photoeffekt%20-%20Lenard_1.pdf). Acesso em: 22 mar. 2022.

LENOIR, Yves. L'intervention éducative, un construit théorique pour analyser les pratiques d'enseignement. **Nouveaux cahiers de la recherche en éducation**, Sherbrooke, v. 12, n. 1, p. 9-29, 2009. DOI: 10.7202/1017474ar. Disponível em: <https://doi.org/10.7202/1017474ar>. Acesso em: 20 ago. 2024.

LURIA, Alexander R., LEONTIEV, Alexis N., VYGOTSKY, Lev S. **Psicologia e pedagogia**. 1ra edição. São Paulo: Moraes, 1991. 94 p. ISBN 8588208458.

MARTINS, Erikson de Carvalho; SANTOS, Gilberto Lacerda dos. Epistemologia qualitativa, fenomenologia e pesquisa-ação: diálogos possíveis. **Filosofia e Educação**, Campinas, SP, v. 9, n. 3, p. 18-45, 2017. DOI: 10.20396/rfe.v9i3.8650021. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rfe/article/view/8650021>. Acesso em: 24 jul. 2025.

MARTINS, Roberto de A; ROSA, Pedro S. **História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004. 292 p.

MARTINS, V. F.; VANZELLA, M. D.; GUIMARÃES, M. P. Aplicação para o apoio de ensino de geometria baseada em realidade aumentada. In: Congresso Brasileiro de Recursos Digitais na Educação, 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Congresso Brasileiro de Recursos Digitais na Educação, 2012.

MATOVU, Henry et al. Immersive virtual reality for science learning: design, implementation, and evaluation. **Studies in Science Education**, v. 59, n. 2, p. 205–244, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2082680>. Acesso em: 15 mar. 2024.

MELO JÚNIOR, Hermócrates Gomes; RIBEIRO, Elson José; LIMA, Laise Katiane Alencar; MAGALHÃES, Elias Nascimento; KOCHEN, Vera Lucia; DIAS, Christiane de Araujo Monteiro. Tecnologias emergentes na educação: impactos, desafios e perspectivas para o ensino contemporâneo. **Revista Aracê**, São José dos Pinhais, v. 7, n. 1, p. 1234-1251, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/arev7n1-075>. Acesso em: 12 março. 2025.

MILLER, William. Old man's advice to youth: "Never lose a holy curiosity". In: DEATH of a genius: his fourth dimension, time, overtakes Einstein. **Life, New York: Time Incorporated**, v. 38, n. 18, p. 62-64 (citação p. 64), 2 maio 1955.

MORAES, Roque (org.). **Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2003. 230 p. ISBN 978-857430-128-0.

MORAN, J. M. **Ensino e aprendizagem inovadores com tecnologias audiovisuais e telemáticas**. In: MORAN, J. M.; MASETTO, M. T.; BEHRENS, M. A. Novas tecnologias e mediação pedagógica. 17. ed. Campinas, SP: Papyrus, 2013. p. 11-66.

MORAN, José Manuel. **Novas Tecnologias e Mediação Pedagógica**. Campinas: Papyrus. 1ra edição. 2000.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

MOURA, Breno Arsioli; BOSS, Sérgio Luiz Bragatto. Thomas Young e o resgate da teoria ondulatória da luz: uma tradução comentada de sua Teoria sobre Luz e Cores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 4203-1–4203-24, 2015. DOI: 10.1590/S1806-11173731818. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11173731818>. Acesso em: 10 abr. 2023.

Mufit, F., Hendriyani, Y.; Dhanil, M. (2024). Design immersive virtual reality (IVR) with cognitive conflict to support practical learning of quantum physics. *Journal of Turkish Science Education*, 21(2), 369–388. <https://doi.org/10.36681/tused.2024.020>

NOGUEIRA, Makeliny Oliveira Gomes; LEAL, Daniela. **Teorias da aprendizagem: um encontro entre os pensamentos filosófico, pedagógico e psicológico**. 2. ed. rev., atual. e ampl. Curitiba: Intersaberes, 2015. p. 161.

OLIVEIRA, A.; LUCAS, T.; IQUIAPAZA, R. O que a pandemia da COVID-19 tem nos ensinado sobre adoção de medidas de precaução? **Texto e Contexto Enfermagem**, v. 29, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-265X-TCE-2020-0106>. Acesso em: 26 ago. 2024.

OLIVEIRA, Marta Kohl. **Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento: um processo sócio-histórico**. 5. ed. São Paulo: Scipione, 2010.

ORGAZ, GB; Moreno, M; Camacho, D.; Barrero, D. Agrupación de comportamientos de avatar a partir de interacciones de Mundos Virtuales. En: **4º Taller Internacional sobre Inteligencia Web y Comunidades**. Actas del Taller Internacional sobre Inteligencia Web y Comunidades, Lyon, p. 1-7. 2012.

PAGANI, Regina Negri; KOVALESKI, João Luiz; RESENDE, Luis Mauricio Martins de. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação, Brasília**, DF, v. 46, n. 2, p. 161-187, maio/ago. 2018. DOI: 10.18225/ci.inf.v46i2.1886. Disponível em: <https://revista.ibict.br/ciinf/article/view/1886>. Acesso em: 17 jul. 2023.

PAGE, Matthew J. et al. **The PRISMA 2020** statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, London, v. 372, n. 71, p. 1-9, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71. Disponível em: <https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71>. Acesso em: 18 abr. 2025.

PESCE, L.; ABREU, C. B. de M. Pesquisa qualitativa: considerações sobre bases filosóficas e princípios norteadores. *Revista da FAEBA - Educação e Contemporaneidade*, Salvador, v. 22, n. 40, p. 19–30, 2019. DOI: 10.21879/faeaba2358-0194.2013.v22.n40.p19-29. Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/faeaba/article/view/7435>. Acesso em: 29 jan. 2026.

PIETROCOLA, Maurício; BROCKINGTON, Guilherme. Recursos computacionais disponíveis na internet para o ensino de Física moderna e contemporânea. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS (ENPEC), 4., 2003, Bauru, SP. **Anais [...]**. Bauru: ABRAPEC, 2003. (Painel PNL221).

Disponível em:

<https://fep.if.usp.br/~profis/arquivo/encontros/enpec/ivenpec/Arquivos/Painel/PNL221.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2026.

REISIN, Hernán D.; FERRARA, Sebastián J. **Efecto fotoeléctrico**. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio 5, set. 2004. Disponível em:

[https://www.fisicarecreativa.com/informes/infor\\_mod/fotoelectrico2k4.pdf](https://www.fisicarecreativa.com/informes/infor_mod/fotoelectrico2k4.pdf). Acesso em: 08 nov. 2023.

RIPPER, Afira V. **Significação e mediação por signo e instrumento**. Temas em Psicologia, Ribeirão Preto, v. 1, n. 1, p. 25-30, abr. 1993. Disponível em:

[http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413389X1993000100005&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413389X1993000100005&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 27 jan. 2026.

RIZAL, Rahmat; RIDWAN, Irwan Muhammad; SUHENDI, Herni Yuniarti; MAHMUDAH, Ifa Rifatul. Student's readiness in using virtual reality for physics learning. **Journal of Teaching and Learning**, v. 19, n. 1, p. 131-154, 2025. DOI: 10.22329/jtl.v19i1.8943. Disponível em: <https://doi.org/10.22329/jtl.v19i1.8943>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ROCHA, Sinara Socorro Duarte; JOYE, Cassandra Ribeiro; MOREIRA, Marília Maia. A Educação a Distância na era digital: tipologia, variações, uso e possibilidades da educação online. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 6, e10963390, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i6.3390. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/3390>. Acesso em: 28 sep. 2023.

ROJAS, Jucimara; FONSECA, Regina Baruki; SOUZA, Rosana Sandri E. de. Fenomenologia e rigor na pesquisa educacional: a experiência da UFMS. In: **SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PESQUISA E ESTUDOS QUALITATIVOS (SIPEQ)**, 4., 2010, Rio Claro, SP. Anais do IV Seminário Internacional de Pesquisa e Estudos Qualitativos. Rio Claro, SP: UNESP/SE&PQ, 2010. p. 1-10. Disponível em: <https://arquivo.sepq.org.br/IV-SIPEQ/Anais/artigos/80.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2025.

ROLLNICK, Marissa; BENNETT, Judith; RHEMTULA, Mariam; DHARSEY, Nadine; NDLOVU, Thandi. The place of subject matter knowledge in pedagogical content knowledge: a case study of South African teachers teaching the amount of substance and chemical equilibrium. **International Journal of Science Education**, [S. l.], v. 30, n. 10, p. 1365-1387, 13 ago. 2008. DOI: 10.1080/09500690802187025. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09500690802187025>. Acesso em: 07 jul. 2025.

SANTOS, Gesinaldo; RESENDE, Luis Mauricio Martins de. O desafio metodológico no uso de novas tecnologias: um estudo em uma instituição de ensino da cidade de

Itararé-SP. **Revista Tecnologias na Educação**, ano 6, n. 10, p. 1-12, jul. 2014. Disponível em: <https://tecedu.pro.br/wp-content/uploads/2015/07/Art7-ano6-vol10-julho2014.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2024.

SERWAY, R. A.; Jewett, JR., J. W. **Princípios de Física: Óptica e Física Moderna**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, v. 4, 2004.

SHULMAN, L.S. **Paradigms and research programs for the study of teaching**. In M.C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (3rd ed.). New York: Macmillan. 1986.

SIQUEIRA, Paulo Henrique. Ambiente web de realidade aumentada e realidade virtual para visualização dos planetas do sistema solar. In: **GRAPHICA 2019 – XIII International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design**, Rio de Janeiro, 24-27 set. 2019. p. 1144-1154. Disponível em: [https://www.exatas.ufpr.br/portal/deggraf\\_paulo/wp-content/uploads/sites/4/2014/09/sistema\\_solar\\_ra\\_rv\\_graphica2019.pdf](https://www.exatas.ufpr.br/portal/deggraf_paulo/wp-content/uploads/sites/4/2014/09/sistema_solar_ra_rv_graphica2019.pdf). Acesso em: 29 jan. 2026.

SUTHERLAND, Ivan Edward. *Sketchpad: a man-machine graphical communication system*. 1963. **Tese** (Doutorado) — Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (MA), 1963.

TARNG, Wernhuar; PEI, Ming-Che. Application of virtual reality in learning quantum mechanics. **Applied Sciences**, v. 13, n. 19, 10618, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/app131910618>. Acesso em: 25 jul. 2024.

TAYLOR, John Robert; ZAFIRATOS, Chris D.; DUBSON, Michael Andrew. **Modern physics for scientists and engineers**. 2. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2004. 720 p. ISBN 978-0138057152.

TIPLER, Paul Allen; MOSCA, Gene. **Física para la ciencia y la tecnología**. 4. ed. Barcelona: Reverté, 1999.

TIRADO Segura, Felipe. **Psicología educativa: para afrontar los desafíos del siglo XXI**. 1. ed. México: McGraw-Hill, 2010. 384 p.

TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva (org.). **Introdução à realidade virtual e aumentada**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2018. DOI: 10.5753/sbc.6654.2. ISBN 978-65-87003-54-2. Disponível em: <https://books-sol.sbc.org.br/index.php/sbc/catalog/view/66/291/540>. Acesso em: 27 jan. 2023.

TORI, Romero; KIRNER, Cláudio. **Fundamentos de realidade virtual**. In: TORI, Romero; KIRNER, Cláudio; SISCOOTTO, Robson Augusto (Org.). *Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada: livro do pré-simpósio VIII Symposium on Virtual Reality*, Belém-PA, maio 2006.

TRAMPUZ Toala, Shirley Marisol. La realidad virtual como recurso educativo en las ciencias experimentales. **Polo del Conocimiento**, v. 8, n. 6, p. 634-644, jun. 2023. DOI: 10.23857/pc.v8i6.5703. Disponível em: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/5703>. Acesso em: 19 jun. 2024.

VIEIRA, Luís Miguel Silva; BRAZÃO, José Paulo Gomes. Learning Environments: from real to immersive. **Journal of Research and Knowledge Spreading**, Arapiraca, v. 3, n. 1, e13486, 27 mar. 2022. DOI: 10.20952/jrks3113486. Disponível em: <https://doi.org/10.20952/jrks3113486>. Acesso em: 11 mar. 2023.

VIGOTSKI, Lev Semenovich. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998. 191 p. ISBN 8533608187.

VOSS, Gleizer Bierhalz; NUNES, Felipe Becker; HERPICH, Fabrício; MEDINA, Roseclea Duarte. Ambientes virtuais de aprendizagem e ambientes imersivos: um estudo de caso utilizando tecnologias de computação móvel e web viewers. **Tecnologias, Sociedade e Conhecimento**, Campinas, SP, v. 2, n. 1, p. 24-42, 2014. DOI: 10.20396/tsc.v2i1.14448. Disponível em: <https://econtents.sbu.unicamp.br/inpec/index.php/tsc/article/view/14448>. Acesso em: 08 ago. 2023.

VYGOTSKY, L. S., Luria, A. R. **Tool and symbol in child development**. In: VAN Der Veer, R.; Valsiner, J. (Ed.). *The Vygotsky reader*. Cambridge, USA: Blackwell, 1994. p. 99-174.

ZANETIC, João; MOZENA, Erika Regina. **Textos de Evolução Apresentação** (Primeira Parte): da versão revisada em 2019-2020. São Paulo: IFUSP, 2019. (Notas de aula). Disponível em: [http://fep.if.usp.br/~profis/arquivo/prod\\_docente/materiais/Zanetic\\_Evolucao\\_dos\\_conceitos\\_da\\_Fisica\\_1a\\_parte\\_Filosofia\\_2019-2020.pdf](http://fep.if.usp.br/~profis/arquivo/prod_docente/materiais/Zanetic_Evolucao_dos_conceitos_da_Fisica_1a_parte_Filosofia_2019-2020.pdf). Acesso em: 29 jul. 2023.

ZAPATERO Guillén, Daniel. Aplicaciones didácticas de la realidad virtual al Museo Pedagógico de Arte Infantil. 2007. **Tese** (Doutorado) — Facultad de Bellas Artes, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2007. Disponível em: <https://docta.ucm.es/entities/publication/a35f061c-4076-40bc-808b-279ba85edac7>. Acesso em: 11 jul. 2023.

ZEILINGER, A., Ekert, A., Bouwmeester, D. **The Physics of Quantum Information**, 1a. Ed. Springer, Germany. 2001.

**APÊNDICE A – Questionário escala linkert – avaliação da simulação RVI por parte de professores da área de Física/Ensino**



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO  
PARANÁ PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DOUTORADO EM ENSINO DE  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**QUESTIONÁRIO (ESCALA LIKERT) SOBRE SIMULAÇÃO RVI NA  
DUALIDADE ONDA- PARTÍCULA/ EFEITO FOTOELÉTRICO**

Caro (a) Professor (a):

Receba uma cordial e respeitosa saudação do Ms. Richar Nicolás Durán, orientado pelo Professor Dr. Romeu Miqueias Szmoski.

O objetivo deste documento é obter sua valiosa colaboração para uma avaliação Escala Likert sobre uma simulação de Realidade Virtual Imersiva no conteúdo de Dualidade Onda Partícula/Efeito fotoelétrico como instrumento mediador pedagógica-tecnológico para o processo de Ensino-aprendizagem. Sendo aplicado em alunos que cursam tal conteúdo específico da simulação. Esta avaliação será usada na pesquisa de doutorado intitulada **“SIMULAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA APLICADA NO ENSINO E APRENDIZAGEM DA FÍSICA MODERNA: DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA/EFEITO FOTOELÉTRICO”**

**Instruções**

Abaixo, você encontrará uma série de questões relacionadas à Simulação RVI. Após testar a simulação. Leia cada item cuidadosamente e depois marque com um “X” na tabela o que você considera apropriado e está de acordo com suas observações e critérios. É importante considerar todas as questões ou itens.

**OBRIGADO PELA SUA COLABORAÇÃO.**

## ESCALA DE AVALIAÇÃO

A	B	C	D	E
Concordo totalmente	Concordo	Neutro / Não sei	Discordo	Discordo totalmente

N.º	Simulação de RVI (Dualidade Onda Partícula/Efeito fotoelétrico)	A	B	C	D	E
<b>Percepção sobre a aprendizagem dos conteúdos</b>						
1	A simulação em realidade virtual demonstra potencial para facilitar a compreensão do conceito de dualidade onda-partícula por parte dos estudantes.					
2	A simulação favorece a articulação entre os aspectos teóricos e experimentais da Física Moderna					
3	A abordagem do efeito fotoelétrico por meio da RVI torna os conceitos mais acessíveis e compreensíveis aos alunos.					
4	A utilização da RVI contribui para superar dificuldades associadas à abstração dos conteúdos de Física Moderna.					
<b>Engajamento e motivação</b>						
5	A abordagem com RVI pode tornar o aprendizado mais atraente em comparação com métodos tradicionais.					
6	A tecnologia de realidade virtual mostra-se eficaz para despertar o interesse dos alunos pela Física moderna.					
7	A simulação em RVI promove uma experiência de aprendizagem mais atrativa para os estudantes.					
8	O uso da RVI permitiu uma melhor visualização dos processos físicos envolvidos no efeito fotoelétrico que desperte a curiosidade científica dos estudantes.					
<b>Usabilidade e experiência com a RVI</b>						
9	Os elementos interativos da RVI favoreceram a compreensão dos fenômenos físicos simulados.					

10	A simulação apresentou uma interface funcional e de fácil navegação para os estudantes.					
11	As instruções da simulação foram claras e adequadas ao público-alvo.					
12	A RVI pode considerada um instrumento de mediação didática segundo a teoria de Vygotsky.					
13	A metodologia com RVI possui condições de escalabilidade para outras disciplinas de Física.					

**Observações:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Dados do avaliador**

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

Maior formação: \_\_\_\_\_

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

## **APÊNDICE B - Momento A**

**Questionário sobre Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico e Realidade Virtual**



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO  
PARANÁ PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DOUTORADO EM ENSINO DE  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA

(MOMENTO A)

**QUESTIONÁRIO SOBRE DUALIDADE ONDA- PARTÍCULA/ EFEITO  
FOTOELÉTRICO E REALIDADE VIRTUAL**

O questionário tem o objetivo de estudar os conhecimentos que os alunos têm em relação aos processos de ensino e aprendizagem da Física Moderna especificamente nos conteúdos de dualidade onda-partícula/efeito fotoelétrico. Como parte da pesquisa intitulada; **SIMULAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL APLICADA NO ENSINO E APRENDIZAGEM DA FÍSICA MODERNA: DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA/EFEITO FOTOELÉTRICO.**

Sendo assim, o questionário é totalmente confidencial e não é necessário fornecer seu nome. Destina-se a coletar dados para pesquisa. As questões são de tipos variados, incluindo perguntas de seleção simples e questões abertas, proporcionando a oportunidade de refletir sobre o processo de aprendizagem, os métodos de ensino utilizados e o conteúdo específico abordado.

Obrigado por contribuir e fazer parte da amostra do estudo. Agradecemos pela colaboração.

Por favor, responda às seguintes perguntas mistas com total liberdade e tranquilidade.

Questões:

- 1. Você já teve a oportunidade de utilizar a Realidade Virtual Imersiva (RVI) para alguma atividade lúdica (jogos) ou educativa? Descreva brevemente como foi essa experiência.**

**2. Qual o seu nível de compreensão sobre o conceito de difração antes de usar a simulação RVI?**

- Muito alto
- Alto
- Moderado
- Baixo
- Nenhum

**3. A simulação em realidade virtual facilitou a compreensão do fenômeno de difração?**

- Sim, muito
- Sim, parcialmente
- Não facilitou
- Tornou mais confuso

**4. Você sentiu que a simulação proporcionou um melhor entendimento sobre como a luz se comporta ao passar pela rede de difração?**

- Sim
- Não
- Parcialmente

**5. Na sua opinião, quais foram os aspectos mais interessantes observados no fenômeno de difração na simulação?**

**6. Você se sentiu mais engajado pela RVI durante a aprendizagem com este método de ensino utilizado?**

- Sim
- Parcialmente
- Não

## **APÊNDICE C - Momento B**

**Questionário sobre dualidade Onda- Partícula/Efeito Fotoelétrico e realidade virtual**



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO  
PARANÁ PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DOUTORADO EM ENSINO DE CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA

(MOMENTO B)

**QUESTIONÁRIO SOBRE DUALIDADE ONDA- PARTÍCULA/ EFEITO  
FOTOELÉTRICO E REALIDADE VIRTUAL**

O questionário tem o objetivo de estudar os conhecimentos que os alunos têm em relação aos processos de ensino e aprendizagem da Física Moderna especificamente nos conteúdos de dualidade onda-partícula/efeito fotoelétrico. Como parte da pesquisa intitulada; **SIMULAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL APLICADA NO ENSINO E APRENDIZAGEM DA FÍSICA MODERNA: DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA/EFEITO FOTOELÉTRICO.**

Sendo assim, o questionário é totalmente confidencial e não é necessário fornecer seu nome. Destina-se a coletar dados para pesquisa. As questões são de tipos variados, incluindo perguntas de seleção simples e questões abertas, proporcionando a oportunidade de refletir sobre o processo de aprendizagem, os métodos de ensino utilizados e o conteúdo específico abordado.

Obrigado por contribuir e fazer parte da amostra do estudo. Agradecemos pela colaboração.

Por favor, responda às seguintes perguntas mistas com total liberdade e tranquilidade.

Questões:

**7. Qual é o seu nível de familiaridade com o conteúdo sobre Dualidade Onda-partícula e o Efeito Fotoelétrico?**

- Muito familiar
- Familiar
- Pouco familiar
- Nada familiar

**8. Qual método foi utilizado para o seu aprendizado deste conteúdo?**

- Aula tradicional (presencial ou online)
- Experimento em sala de aula
- Simulação Computacional

**9. Em uma escala de 1 a 5, como você avalia a clareza das explicações fornecidas durante a aprendizagem com a RVI?**

- 1 (Muito Ruim)
- 2 (Ruim)
- 3 (Regular)
- 4 (Boa)
- 5 (Excelente)

**10. Você se sentiu mais engajado durante a aprendizagem com o uso da RVI?**

- Sim
- Não
- Parcialmente

**11. Quão bem você acha que compreendeu os conceitos envolvidos sobre Dualidade Onda-partícula e Efeito Fotoelétrico após a aula?**

- Muito bem
- Bem
- Moderadamente
- Pouco
- Nada

**12. Quais aspectos da aula/simulação você achou mais úteis para seu aprendizado? (Resposta aberta)**


**13. Você encontrou alguma dificuldade durante a aprendizagem? Se sim, descreva. (Resposta aberta)**

**14. Como você descreveria a sua experiência geral com o método de aprendizagem utilizando a RVI? (Resposta aberta)**

**15. Como a experiência com a RVI contribuiu para sua compreensão da dualidade da luz? Explique.**

## **APÊNDICE D -**

### **Manual técnico-didático sobre simulação RVI**



***Manual Técnico-Didático***  
***Sobre uma Simulação***  
***RVI para o Ensino da***  
***Dualidade Onda-***  
***Partícula/Efeito***





# **MANUAL TECNICO-DIDÁTICO SOBRE UMA SIMULAÇÃO DE RVI PARA O ENSINO DA DUALIDADE ONDA- PARTÍCULA/EFEITO FOTOELÉTRICO**

**RICHAR NICOLÁS DURÁN ANDRADES  
ROMEU MIQUEIAS SZMOSKI  
AWDRY FEISSER MIQUELIN**

**PONTA GROSSA  
2026**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

## SUMARIO

APRESENTAÇÃO.....	190
1. Objetivos, Habilidades e Competências a serem desenvolvidas.....	191
1.1 Objetivos .....	191
1.2 Habilidades e Competências.....	191
2. O Contexto.....	192
3. Orientações para o uso da simulação .....	194
3.1 Pré-requisitos tecnológico .....	194
3.2 Opção 1: Via Computador com cabo link dos óculos meta ou air link .....	195
3.2.1 Equipamentos: .....	195
3.2.2 Requisitos mínimos do computador: .....	195
3.3 Opção 2 (Recomendado): Instalação Direta no Óculos (via APK ) .....	195
3.3.1 Requisitos:.....	195
3.3.2 Vantagem: .....	195
3.3.3 Como instalar: .....	196
3.3.4 Após instalar.....	198
4. Orientações ao Professor.....	200
4.1 Divisão da proposta:.....	201
5. Orientações ao Aluno .....	203
5.1 Interação dos controles Meta Quest 2.....	204
5.2 Movimentação no ambiente virtual.....	205
5.3 Interação com objetos .....	206
6. Guia de aula e atividades propostas utilizando a simulação RVI.....	207
6.1 Aula N° 1 .....	207
Conteúdo: Simulação de Difração de uma lâmpada de mercúrio na primeira ordem	
.....	207
( $m = 1$ ).....	207
Atividades.....	208
Verificação de aprendizagem.....	211
6.2 Aula N° 2 .....	212
Conteúdo: Simulação do efeito fotoelétrico utilizando os valores da difração	
(lâmpada de mercúrio), incidindo sobre diferentes metais em tubo a vácuo (modelo	
de Lenard).....	212
Atividades.....	212
Verificação de aprendizagem.....	217
7. REFERÊNCIAS .....	218

## APRESENTAÇÃO

Nas últimas décadas, o ensino das ciências e, em particular, da Física tem sido cenário de profundas transformações didáticas impulsionadas pela integração das Tecnologias Digitais Educacionais. Dentre essas inovações, destaca-se a Realidade Virtual Imersiva (RVI) como uma ferramenta pedagógica que rompe com os modelos tradicionais de ensino, ainda muito pautados na transmissão expositiva tradicional, e proporcionar experiências de aprendizagem mais significativas, interativas e contextualizadas.

Este Manual Didático intitulado “Simulação RVI para o Ensino da Dualidade Onda-Partícula e Efeito Fotoelétrico” foi concebido com o objetivo de explorar a Física Moderna a partir de dois experimentos fundamentais: a Difração da luz desde a perspectiva clássica de Tomas Young, e o Efeito Fotoelétrico considerando o experimento de Lenard e teoria de Albert Einstein. Ambos experimentos apresentados em um ambiente tridimensional desenvolvido na plataforma Unity, com os objetos modelados no Blender 3D. Ao adentrar no laboratório virtual, o aluno assume o papel ativo de um pesquisador, interagindo com instrumentos virtuais, fenômenos e variáveis físicas de maneira prática e imersiva.

A proposta é promover a RVI como mediação Pedagógico-Tecnológica que viabiliza o acesso aos conhecimentos científicos específicos. A Física Moderna, frequentemente percebida como distante nas práticas experimentais, ganha nova dimensão quando experienciada por meio da RVI, aproximando o aluno de fenômenos que seriam abstratos ou inacessíveis nas práticas tradicionais.

De acordo com Giraffa et al, (2015, p. 19), a formação profissional no contexto atual exige a presença da tecnologia como parte integrante dos processos de ensino-aprendizagem. Gomes e Moita, (2016, p. 149) reforçam que as tecnologias, quando utilizadas de forma crítica e contextualizada, reinventam os modos de ensinar e aprender, desafiando o educador a ressignificar sua prática.

Inspirada na teoria de Lev Vygotsky, onde se destaca a importância da mediação pedagógica na construção do conhecimento, esta simulação propõe-se a aproximar os estudantes dos conteúdos por meio da imersão sensorial e da interação ativa orientada pelo professor. Fazendo com que o aluno se aproxime para a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP).

Sendo assim, Matovu et al. (2023) destacam que, a RVI pode ser entendida como uma ferramenta tecnológica alinhada com a visão de instrumento social, permitindo se aproximar na ZDP, promovendo engajamento, pertencimento e aprendizagem em contextos de ensino de Física. No entanto, é importante considerar que, assim como qualquer outra tecnologia, o uso da RVI deve ser planejado e integrado em um contexto educacional, permitindo considerar as vantagens e as limitações que possa trazer.

## **1. Objetivos, Habilidades e Competências a serem desenvolvidas**

### **1.1 Objetivos**

- ✓ Evidenciar o uso da Realidade Virtual Imersiva na aprendizagem dos alunos sobre os tópicos de Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico.
- ✓ Aplicar o conhecimento teórico adquirido durante as aulas na Física Moderna.
- ✓ Incentivar cada vez mais o trabalho dos Educadores que buscam uma forma criativa nos processos de aprendizagem com ajuda da Tecnologia.
- ✓ Identificar padrões de difração associados ao comportamento ondulatório da luz.
- ✓ Analisar a emissão de elétrons a partir de superfícies metálicas iluminadas (Efeito Fotoelétrico).

### **1.2 Habilidades e Competências**

- ✓ Compressão dos fenômenos Físicos, e aplicar os conceitos em contextos simulados por meio da RVI.
- ✓ Compreender os processos internos dos alunos, contribuindo desta maneira para o seu desenvolvimento intelectual e profissional.
- ✓ Desenvolver as habilidades tecnológicas, onde o professor e o alunos, possam visualizar as vantagens que tem no ambiente educacional.

- ✓ Relacionar fenômenos físicos com os modelos teóricos que os explicam.
- ✓ Interpretar dados experimentais obtidos na simulação para tirar conclusões científicas.

## 2. O Contexto

A RVI é um ambiente tridimensional, interativo, imersivo e simbólico que amplia as possibilidades de mediação nos processos de ensino e aprendizagem. Mais do que um recurso tecnológico, quando planejada de forma intencional e com fundamentação pedagógica, torna-se um instrumento mediador capaz de potencializar a aprendizagem ativa, promovendo experiências que vão além da simples exposição de conteúdo.

No ensino de Física Moderna, a RVI se destaca por permitir a visualização de fenômenos abstratos, como efeitos quânticos e comportamentos ondulatórios, que dificilmente podem ser reproduzidos de forma concreta no ambiente de sala de aula. Inspirada na teoria de Vygotsky, a proposta aqui apresentada busca explorar a ZDP dos alunos, unindo mediação pedagógico-Tecnológica para facilitar a compreensão de fenômenos complexos.

Essa abordagem fundamenta-se na proposta do modelo didático chamado Mediação Pedagógico-Tecnológica do Conhecimento Específico (MPTCE), no qual cinco dimensões atuam de forma articulada:

- ✓ Mediação Pedagógica conduzida pelo professor, com base nos conhecimentos prévios dos alunos, no planejamento de estratégias e no uso de metodologias ativas.
- ✓ Mediação Tecnológica utilizando a RVI como ferramenta cultural e simbólica, possibilitando interação, e experimentação de conceitos Físicos de maneira imersiva.
- ✓ A mediação pedagógico-tecnológica considerando-a como uma estrutura didática por parte do professor na utilização da RV. Proporcionando ao aluno uma maneira de se aproximar na ZDP.

- ✓ Conhecimento Específico, que se refere ao domínio dos conteúdos específicos, sendo em este trabalho sobre Dualidade Onda-Partícula/Efeito Fotoelétrico. Tendo a capacidade de transformá-los em experiências acessíveis e significativas, segundo a perspectiva de Shulman. (1986) sobre o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK)
- ✓ Ao integrar essas dimensões, busca-se promover o Desenvolvimento Cognitivo Facilitado, ou seja, levar o aluno a níveis mais avançados de compreensão conceitual por meio da interação entre teoria, mediação tecnológica, e mediação docente.

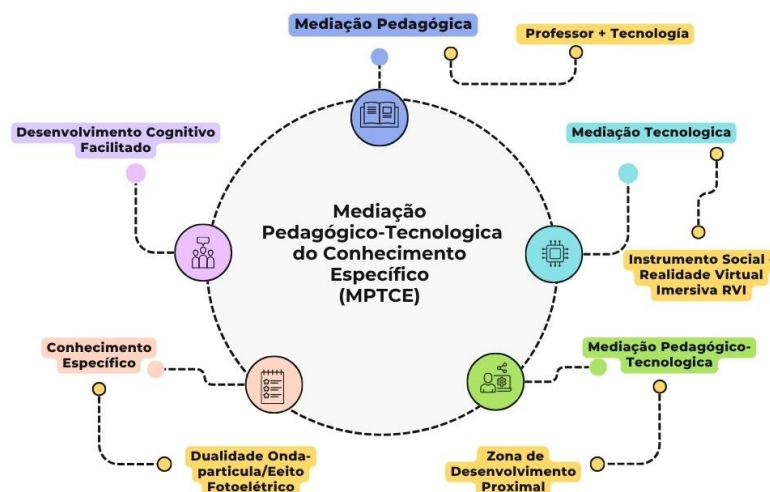
Nesse processo, a RVI atua como ponte entre a abstração teórica e a vivência prática simulada, permitindo que a aprendizagem deixe de ser apenas receptiva para tornar-se ativa, participativa e interativa. (Guimarães et al., 2024).

Embora ainda existam desafios para a adoção em larga escala como o custo dos dispositivos e a necessidade de formação técnica para criação de simulações, as potencialidades educacionais da RVI são significativas. O avanço de tecnologias como a Inteligência Artificial (IA) pode reduzir barreiras técnicas e ampliar o acesso, possibilitando que mais professores incorporem a RVI como recurso de mediação no ensino de ciências. (Júlio; Donat, 2024).

A proposta do modelo teórico e didático MPTCE, traz uma possibilidade prioritariamente para o professor de compreender os processos que envolvem a utilização de uma ferramenta tecnológica, que, sendo abordada em cada componente teórico e prático, se relacionam para formar uma estratégia que facilite um planejamento didático, pensado para melhorar os processos de ensino-aprendizagem.

Assim, como está representado na figura 1, do esquema do modelo MPTCE, desenhado, pensado e organizado envolta do objetivo no qual é mediar o conhecimento utilizando a RVI. Onde o aluno consiga reforçar os conhecimentos e possa ter melhores experiências de aprendizagem.

Figura 1 - Mediação Pedagógico-Tecnológica do Conhecimento Específico (MPTCE)



Fonte: elaboração própria (2025)

Este manual, apresenta não apenas orientações técnicas para o uso da simulação RVI, mas também indica caminhos para sua aplicação pedagógica alinhada a objetivos claros de aprendizagem. A intenção é oferecer suporte para que a simulação seja utilizada de forma planejada, consciente e integrada ao currículo, contribuindo para tornar a Física Moderna mais compreensível, atraente e significativa.

### 3. Orientações para o uso da simulação

#### 3.1 Pré-requisitos tecnológico

**3.1.1 Equipamentos recomendados:** Esta simulação foi desenvolvida para ser usada em ambiente de RVI com os óculos Meta Quest 2 ou 3 para o ensino-aprendizagem do conteúdo proposto em sala de aula. A experiência pode ser executada de duas formas.

### 3.2 Opção 1: Via Computador com cabo link dos óculos meta ou air link

#### 3.2.1 Equipamentos:

Item	Descrição
Óculos de RV	Meta Quest 2 ou 3
Conexão	Cabo Link (USB 3.0) ou Air Link via rede Wi-Fi 5 GHz
Computador compatível	Necessário para processar a simulação (ver requisitos abaixo)

Fonte: A autoria própria (2025)

#### 3.2.2 Requisitos mínimos do computador:

Componente	Requisito
CPU	Intel i5-4590 ou AMD Ryzen 5 1500X
Memória RAM	8 GB
GPU	NVIDIA GTX 970 ou AMD RX 400 ou superior
Sistema Operacional	Windows 10 (64-bit)
Software adicional	Meta Quest Link App (instalado no PC)
USB	1x USB 3.0 disponível

Fonte: A autoria própria (2025)

### 3.3 Opção 2 (Recomendado): Instalação Direta no Óculos (via APK)

#### 3.3.1 Requisitos:

Item	Requisito
Arquivo de instalação	APK exportado da Unity para Android (compatível com Quest 2 e 3)
Óculos Meta Quest	Atualizado e com modo desenvolvedor ativado
Aplicativo para envio do APK	Ex: SideQuest, ADB, Meta Quest Developer Hub
Cabo USB-C	Apenas para transferir o arquivo na primeira vez

Fonte: A autoria própria (2025)

#### 3.3.2 Vantagem:

- ✓ Dispensa o uso de computador diretamente na utilização da simulação.
- ✓ Maior mobilidade e praticidade.

- ✓ Recomendado para simulações otimizadas para Android.

### 3.3.3 Como instalar:

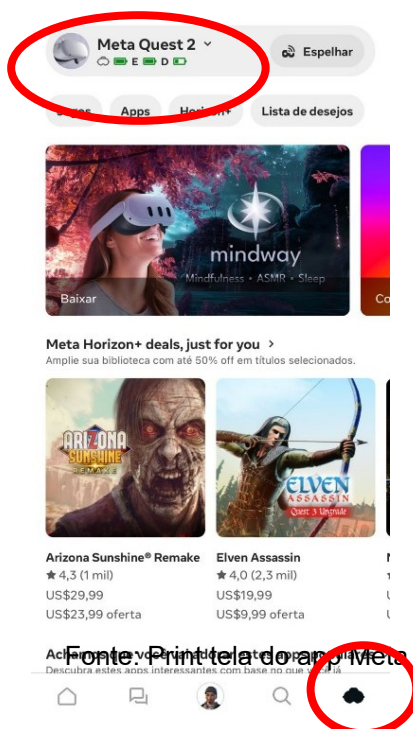
**Pode assistir um tutorial completo explicando todas as etapas descritas no manual. Só escanei o QR**



#### 3.3.3.1 Ativar modo desenvolvedor no Meta Quest

- ✓ Você precisa de uma conta de desenvolvedor (gratuita) vinculada à sua conta Meta.
- ✓ Tutorial oficial (Meta<sup>33</sup>): Segue os passos para baixar os app que são necessários  
<https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-enable-device/>
- ✓ Acesse dashboard.oculus.com e crie uma "organização". No app Meta Quest (para celular) (figura 1) na primeira aba clique na imagem dos óculos na parte superior direita.

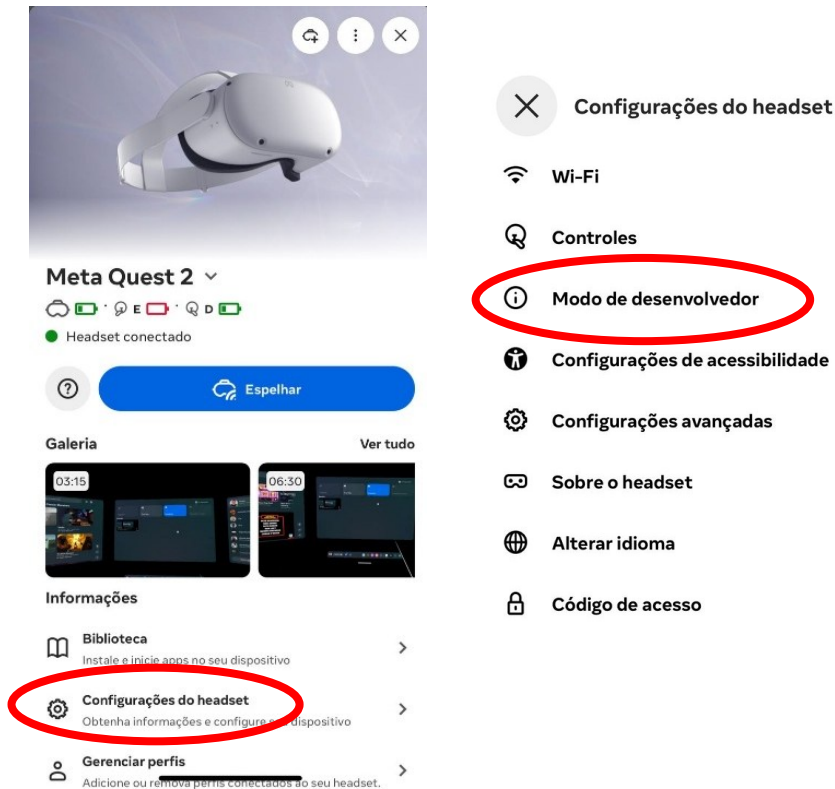
Figura 2 – Primeira aba no app Meta



<sup>33</sup> <https://developers.meta.com/horizon/sign-up/>

Na aba dos óculos vai ver seu *Headset*<sup>34</sup> conectado. Posteriormente, vá em Configurações > Dispositivo > Modo desenvolvedor e ative.

Figura 3- Aba óculos do App celular, mais ativação do desenvolvedor.



Fonte: Print tela do app Meta

### 3.3.3.2 Conectar os óculos ao computador via USB

- ✓ Use o cabo que acompanha aos óculos Quest, ou outro compatível por exemplo (cabo link para óculos Quest)
- ✓ Quando conectar, aceite o acesso via USB no visor do headset.

### 3.3.3.3 Usar o *SideQuest*<sup>35</sup> para enviar o arquivo APK

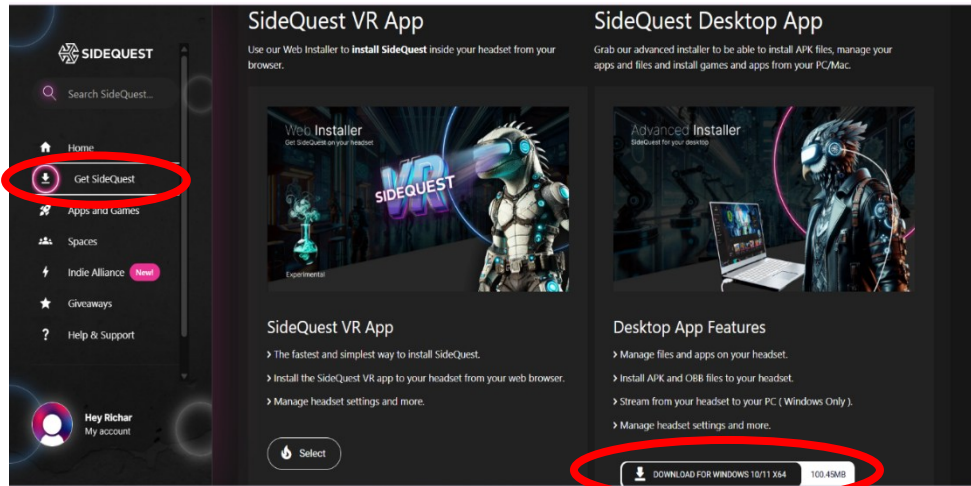
Em esta etapa, o site será a ponte para encaminhar o APK da simulação RVI do computador para os óculos Quest. Para baixar continue nos passos seguintes;

<sup>34</sup> <https://www.meta.com/quest/>

<sup>35</sup> <https://sidequestvr.com/>

- ✓ Baixar o *SideQuest*: <https://sidequestvr.com/setup-howto>

Figura 4 – Aba do site *SideQues*



Fonte: Print da tela *SideQuest*

### 3.3.4 Após instalar:

Conecte os óculos Quest 2 ou 3 ao PC, nesse momento terá que aceitar desde os óculos as permissões de uso USB e ativação. Isso permitirá ser reconhecido no App *SideQuest*. Lembrado que, previamente tem que ter bem configurado seus óculos *Quest* como desenvolvedor. Segue o tutorial de ajuda.

Figura 5 - Tutorial de ajuda para instalação *SideQuest*

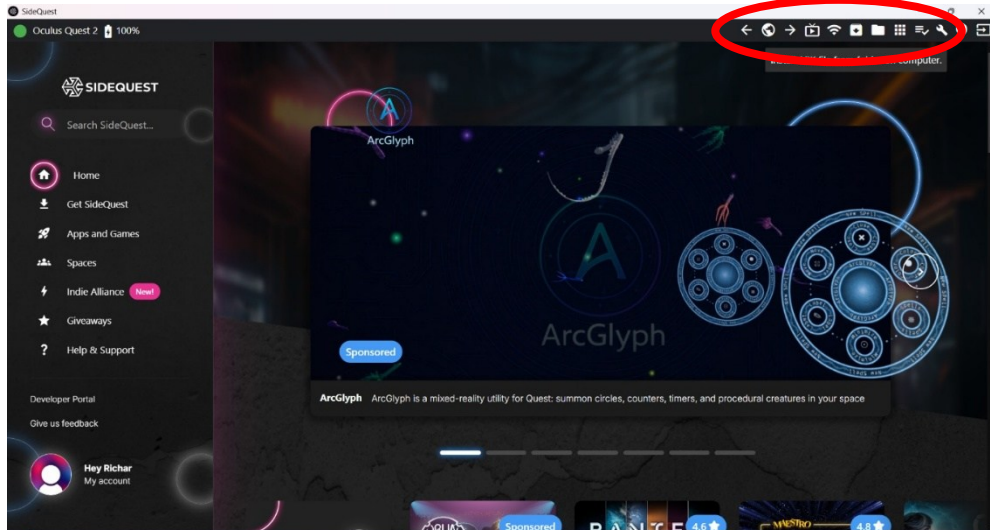


Fonte: [https://www.youtube.com/watch?v=Gil7ccDB6Mw&ab\\_channel=NEXtManu](https://www.youtube.com/watch?v=Gil7ccDB6Mw&ab_channel=NEXtManu)

- ✓ O *SideQuest* deve reconhecer o dispositivo.

- ✓ Após a Instalação e reconhecimento dos óculos. Use o botão "Install APK file from folder" para enviar o APK dá simulação (previamente solicitada aos pesquisadores) para carregá-lo ao headset.

Figura 6 – Primeira Aba do *SideQuest* instalado no computador



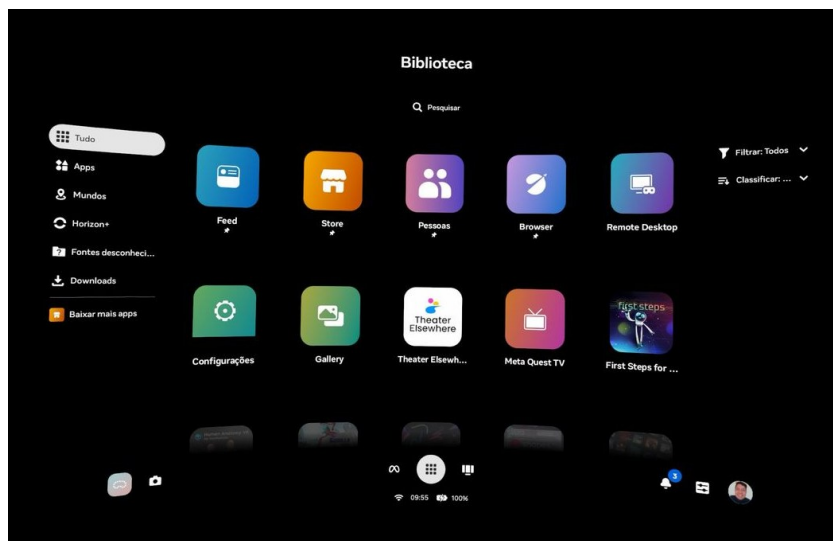
Fonte: Print da tela *SideQuest*

- ✓ Seguidamente, abrir a pasta no seu PC onde estará salvo o APK para instalar no *SideQuest*. Uma vez instalado, ele estará disponível nos óculos.

#### 3.3.4.1 Acessar o app instalado pelo menu (Biblioteca > barra esquerda > Fontes Desconhecidas” nos óculos Quest

- ✓ No visor dos óculos, na parte de menu (biblioteca) aparecerá essa aba como se observa na seguinte imagem (atualização da meta Quest 79.0, julho, 2025).

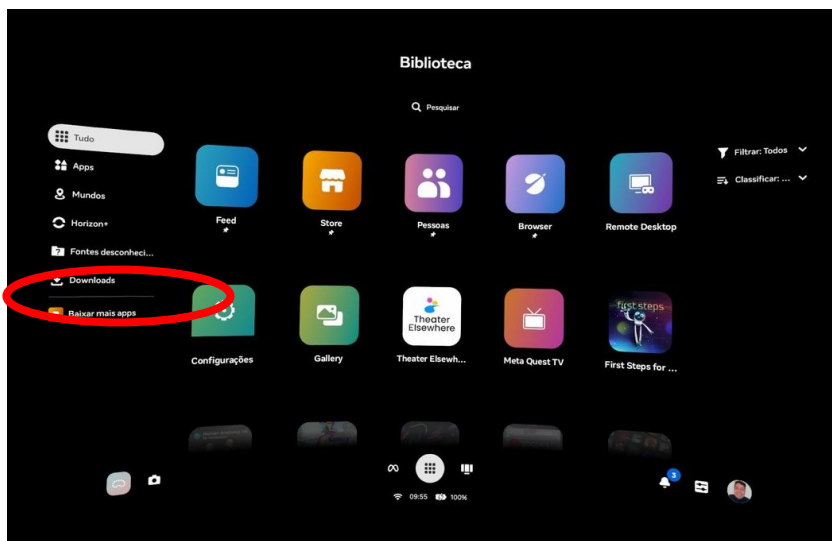
Figura 7 – Aba menu nos óculos Meta Quest



Fonte: print da tela menu no Meta Quest

- ✓ Ir até a barra esquerda dessa aba, e selecionar o filtro “Fontes Desconhecidas”.

Figura 8 – Indicação de Fontes desconhecidas



Fonte: print da tela menu no Meta Quest

- ✓ Seu aplicativo APK da simulação aparecerá na lista. Basta clicar para iniciar.

#### 4. Orientações ao Professor

Considerando que a simulação é uma ferramenta para reforçar os conhecimentos teóricos sobre os conteúdos específicos da Dualidade Onda-

Partícula/Efeito fotoelétrico ajudando ao aluno se aproximar a ZDP. Reforçando que, após os alunos tiverem as aulas teóricas, orienta-se utilizar esta simulação como um recurso mediador como instrumento pedagógico-tecnológica que permita por meio da experimentação virtual, realizar experimentos que ajudem o aluno a se aprofundar nos conhecimentos específicos, com a finalidade de se aproximar nos fenômenos quânticos e ao desenvolvimento cognitivo facilitado.

Pode considerar as seguintes características:

- ✓ Apresente os objetivos e perguntas a observar durante a simulação.
- ✓ Organize a turma de, no máximo 4 alunos por equipe.
- ✓ Oriente os alunos sobre o uso dos óculos, levando em consideração algumas desvantagens como, enjoo em algumas pessoas, incomodidade para os alunos com deficiência visual, ou para quem faz uso de óculos de grau, entre outros.
- ✓ Durante a simulação cuide a organização dos grupos por turno, tempo de uso, etc.)
- ✓ Levante hipóteses com a turma: “O que vocês esperam observar em cada experimento. Experiência 1: Difração da luz (Lâmpada de mercúrio), experiência sobre o Efeito fotoelétrico”?

Duração total sugerida: Recomenda-se realizar a simulação em 2 aulas de 50 minutos (com variações conforme o ritmo da turma).

#### 4.1 Divisão da proposta:

O professor com a simulação previamente estudada, está na capacidade de explicar para a turma os objetivos e finalidades da prática simulada utilizando a RVI. Recomenda-se realizar uma explicação para toda a turma explicando os objetivos e processos da simulação. Realizar a experimentação em duas aulas, sendo elas:

Aula 1: Breve introdução teórica + tutorial + Experimento 1 (Difração) localizada na primeira bancada como observamos na figura 9;

**Pode assistir um tutorial completo explicando todas etapas descritas no manual. Só escaneie o QR**



**as**

Figura 9 – Primeira bancada na simulação RVI



Fonte: Autoria própria (2025)

- ✓ A luz passa por uma lente convergente  $f = +100 \text{ mm}$  que focaliza o raio de luz para uma rede de difração de 600 linhas/mm. Sendo a difração posteriormente simulada no anteparo com a difração de primeira ordem ( $m = 1$ ). O objetivo da simulação é conhecer os comprimentos de onda da lâmpada de mercúrio, seus ângulos e a frequência de cada onda considerando a equação;

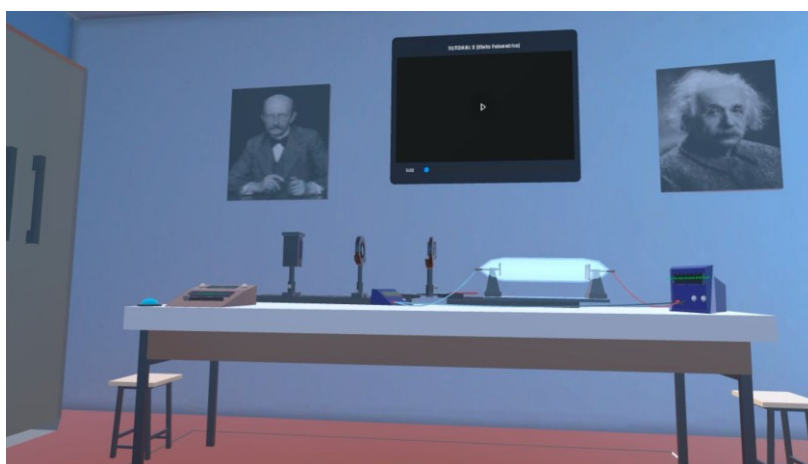
$$d \sin \theta = m \lambda$$

## Aula 2: Experimento 2 – Tutorial + (Efeito Fotoelétrico)

- ✓ Considerando o mesmo equipamento utilizado na experiência de difração, este estará duplicado na segunda bancada, com a diferença de que o anteparo é substituído pelo modelo proposto por Philipp Lenard, composta por duas placas metálicas no vácuo onde vai ser absorvida a luz pelos diferentes metais durante a simulação.

- ✓ Dessa forma, o aluno poderá relacionar o comprimento de onda selecionado na difração da luz e ver agora sua interação com o metal na placa emissora (cátodo).
- ✓ Na experiência, o aluno poderá variar o tipo de metal das placas, a intensidade da luz incidente e a tensão aplicada entre as placas, além, de reconhecer o gráfico da corrente em função da variação do potencial  $\Delta V$ .

Figura 10 – Segunda bancada na simulação RVI



Fonte: Autoria própria (2025)

**Pode assistir um tutorial completo explicando todas as etapas descritas no manual. Só escaneie o QR**



## 5. Orientações ao Aluno

Nesta simulação RVI, o aluno conseguiu refletir sobre a dualidade Onda-Partícula e o efeito fotoelétrico por meio de duas representações simuladas dentro de uma sala de laboratório totalmente virtual imersiva. Antes de iniciar considere algumas características importantes como;

- ✓ Usar os óculos apenas em ambientes com espaço livre indicado pelo professor.

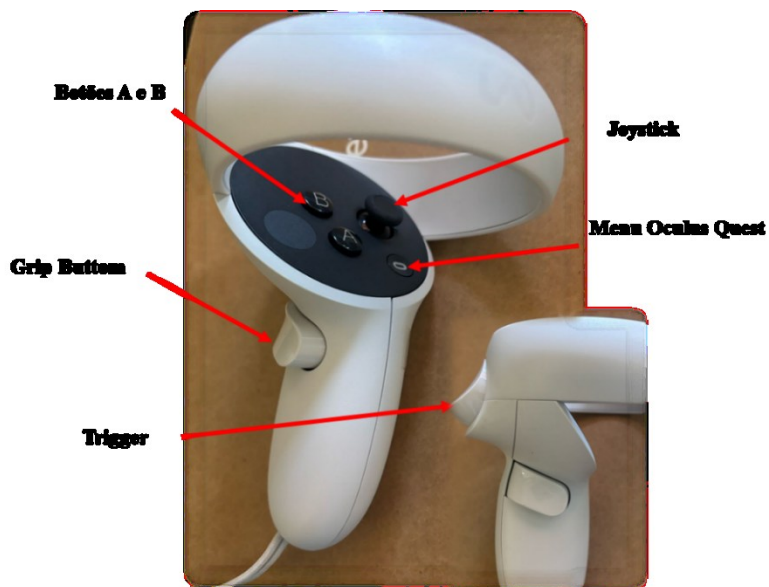
- ✓ Remover objetos do chão ou perto de você (mesas, mochilas, cadeiras).
- ✓ Ajustar as lentes do headset para o seu campo de visão.
- ✓ Não usar os óculos por mais de 20 minutos contínuos sem realizar uma pausa.
- ✓ Caso sinta tontura, náusea ou cansaço ocular, retire os óculos imediatamente.
- ✓ Após de sua experiência, intercambie as ideias com seus colegas de grupo.

### 5.1 Interação dos controles Meta Quest 2

Nesta parte, explica-se as interações de locomoção e interação com os objetos dentro da sala de laboratório onde é especificado cada botão no controle dos óculos Quest 2 como se apresenta a seguir.

- ✓ Controle direito e esquerdo (botões principais): Os controladores chamados Óculos Touch, são dispositivos de rastreamento de movimento com sensores embutidos. Aqui estão os principais elementos de interação com eles.
- ✓ Gatilho (Trigger): Localizado na parte de trás do controle, é usado para interagir com objetos, segurar objetos, ou realizar ações em muitos jogos.
- ✓ Botão de aderência (Grip Button): Este botão está situado na lateral do controle. Dependendo do jogo ou aplicativo, pode ser usado para agarrar objetos ou realizar outras ações. No caso da simulação, pode-se pegar os instrumentos do experimento no balcão.
- ✓ Joystick analógico (Thumbstick): Usado para movimentar seu personagem ou cursor em muitos jogos e aplicativos. Na simulação está programado para fazer movimentação com efeito (locomoção) com transportação na sala.
- ✓ Botões A e B: sem utilização nesta simulação

Figura 11 – Partes do Controle Óculos Quest 2

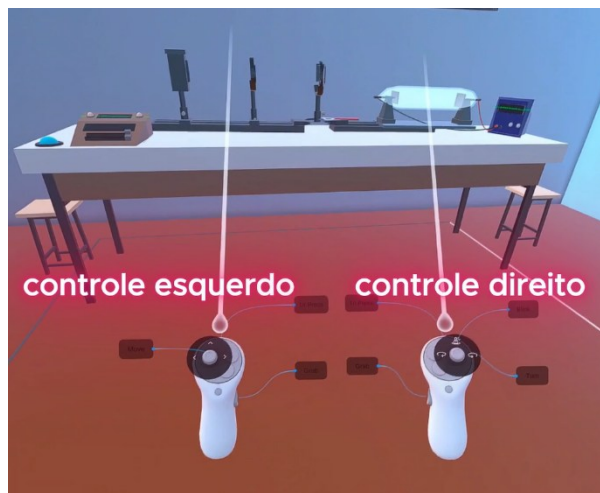


Fonte: Autoria própria (2025)

## 5.2 Movimentação no ambiente virtual

Use os controladores para caminhar no espaço virtual.

Figura 12 – Controle virtuais Óculos Quest 2

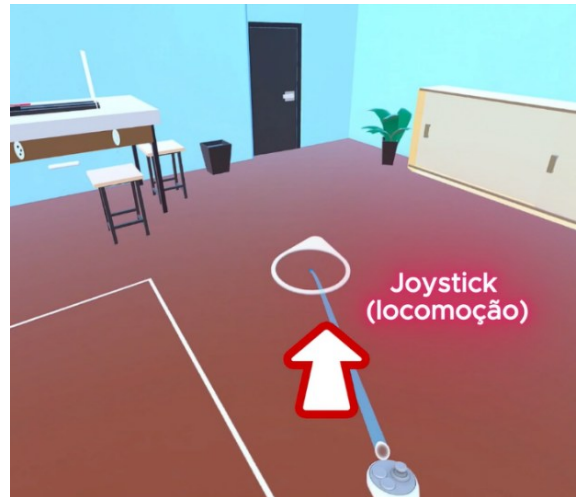


Fonte: Autoria própria (2025)

- Com o controle esquerdo, o botão Joystick: Conseguir ter uma movimentação no laboratório (andar para frente, trás e lados).

- Com o controle direito, o botão Joystick: está programado para girar a visão e também para movimenta-se com efeito (locomoção) com tele transportação na sala virtual.

**Figura 13 – Locomoção no laboratório**



**Fonte: Autoria própria (2025)**

### 5.3 Interação com objetos

Na simulação, os objetos interativos são destacados quando o feixe do controle fica azul (veja a figura a seguir). Aponte para o objeto e pressione o gatilho (Trigger) para selecionar ou aciona.

Basta aproximar-se do objeto e verificar se tem interação. Após essa verificação poderá “clicar” ou selecionar para alterar variáveis na simulação.

**Figura 14 – Raio de interação com objetos**



Fonte: Autoria própria (2025)

Ao iniciar a simulação, o aluno vai se encontrar dentro da sala de laboratório Física Moderna. O ambiente é iluminado, com objetos que representam um laboratório. Tem painéis informativos sobre os conteúdos específicos referente a simulação, bancadas, equipamentos de laboratório.

Seguidamente, o aluno poderá caminhar no espaço real delimitado para realizar a movimentação virtual com o botão Joystick do controle esquerdo ou se locomover com o botão Joystick do controle direito até a bancada onde terá os experimentos simulados e programados para realizar uma experiência totalmente imersiva.

## **6. Guia de aula e atividades propostas utilizando a simulação RVI**

	<p><b>6.1 Aula N° 1</b></p> <p><b>Conteúdo:</b> Simulação de Difração de uma lâmpada de mercúrio na primeira ordem (<math>m = 1</math>).</p>	
--	--	--

**Atividades:**

- ✓ O aluno deverá assistir ao tutorial<sup>36</sup> 1, onde é explicado o passo a passo da primeira experiência.
- ✓ Discutir os valores da simulação (comprimento de onda e frequência) é compará-los com os valores teóricos.
- ✓ Cada aluno selecionará um comprimento de onda da lâmpada de mercúrio na simulação e anotará no caderno o valor correspondente de comprimento de onda e frequência para usá-lo na verificação com a teoria.

**Procedimento:**

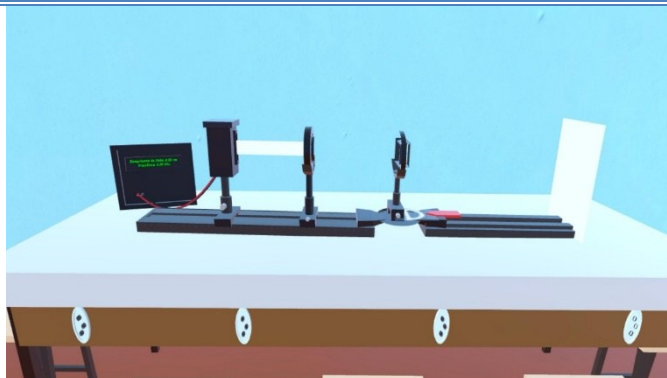
No início, se pedirá aos alunos que observem as explicações no tutorial da simulação feitas pelo professor por meio de compartilhamento de tela dos óculos no projetor multimídia antes de realizar a experiência individualmente. Nesse primeiro momento realizaram os grupos de máximo quatro alunos. Cada grupo com um par de óculos para realizar a primeira experiência com a Difração da luz estudando de forma clássica tendo como referência Tomas Young.

No ambiente virtual, o aluno terá a primeira bancada onde se encontrará com o equipamento simulado em 3D sendo eles: Lâmpada de Mercúrio, Lente, Rede de difração e anteparo, tudo esse equipamento em uma base de suporte como é indicado na figura 15.

Figura 15 - Bancada 1 da simulação (Difração).

---

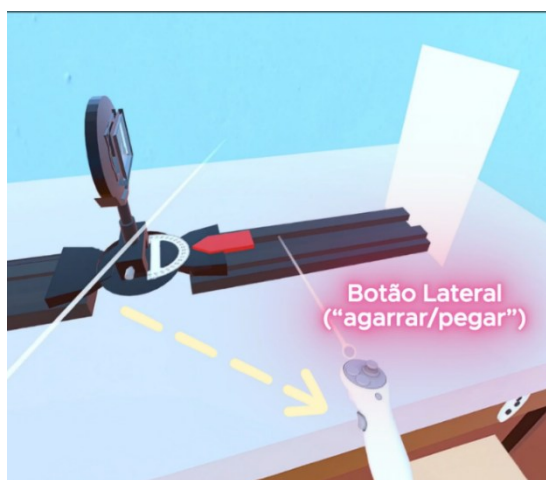
<sup>36</sup> [https://drive.google.com/file/d/1WWQ8CdQq4gb5rw\\_wvoYq5eJmgIA8blqU/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1WWQ8CdQq4gb5rw_wvoYq5eJmgIA8blqU/view?usp=drive_link)



Fonte: A autoria própria (2025)

Logo como primeira atividade cada aluno precisa interagir com a base do anteparo variando o ângulo, primeiro clicando na base do anteparo com o controle direito no botão Grip Button ou botão de aderência seguidamente do Joystick. Assim, poderá encontrar o comprimento de onda ( $\lambda$ ) com relação ao ângulo ( $\theta$ ).

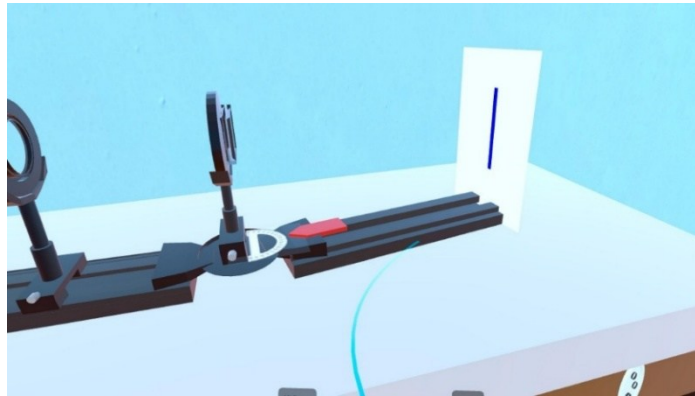
Figura 16 - Base do anteparo.



Fonte: A autoria própria (2025)

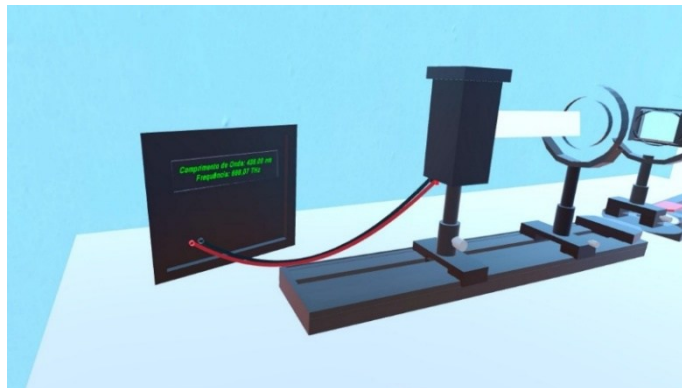
Na sequência, o aluno selecionará um comprimento de onda ( $\lambda$ ), e verificará na fonte os valores de comprimento e frequência da onda selecionada como se mostra nas seguintes figuras. Depois, o aluno anota esses valores, para comparar com os valores teóricos.

Figura 17 - Comprimento de onda



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 18 – Valores de comprimento de onda e frequência na fonte.



Fonte: Autoria própria (2025)

**Observação:** É importante que o aluno ao momento de variar o ângulo do anteparo e selecionar o comprimento de onda, deve observar o ângulo marcado no transferidor que está na base, sendo ele usado para a segunda experiência (Efeito Fotoelétrico).

**Verificação de aprendizagem.**

Para finalizar, o professor poderá propor um debate nas equipes. Após testarem a primeira simulação, os estudantes devem discutir a compreensão do fenômeno de difração observada na simulação e registrar as observações mais relevantes identificadas durante a experiência.

**Responder as seguintes questões desde seus conhecimentos:**

1. O comprimento de onda da lâmpada de mercúrio escolhida por cada integrante da equipe, está de acordo com os valores teóricos?
2. Utilize a equação básica para verificar o ângulo correspondente ao comprimento de onda selecionado na simulação:

$$d \sin\theta = m\lambda ; \text{ para } m = 1 \dots (\text{maximos, franjas claras})$$

3. Em sua opinião, quais foram os aspectos mais interessantes observados no fenômeno de difração na simulação?

## 6.2 Aula N° 2

**Conteúdo:** Simulação do Efeito Fotoelétrico utilizando os valores da difração (lâmpada de mercúrio), incidindo sobre diferentes metais em tubo a vácuo (modelo de Lenard)

### Atividades:

- ✓ Compreender o fenômeno do Efeito Fotoelétrico a partir da interação da luz com a superfície metálica (placa emissora).
- ✓ Relacionar o comprimento de onda e frequência da lâmpada de mercúrio selecionada na primeira experiência.
- ✓ Segundo a teoria, verificar o potencial de corte e a emissão de elétrons para cada metal testado na simulação variando a intensidade da luz.
- ✓ Variar o tipo de metal da placa emissora e registrar em uma tabela: Frequência da luz, metal utilizado, se houve emissão de elétrons ou não.
- ✓ Debater sobre o comportamento dual da luz por meio das experiências da simulação RVI.

### Procedimento:

No início, peça aos alunos que observem as explicações e os tutoriais da segunda simulação antes de realizar a experiência individualmente. Em seguida, configurem a segunda simulação com o **mesmo comprimento de onda** selecionado na etapa de difração. Isso permite que o sistema reconheça esses valores e inicie a nova simulação com os parâmetros corretos.

No ambiente virtual, na segunda bancada, os estudantes encontrarão os seguintes equipamentos simulados em 3D: **lâmpada de mercúrio, lente, rede de difração, módulo do experimento de Lenard (duas placas em vácuo), fonte de tensão, amperímetro digital e uma mesa de controle** para seleção do **tipo de metal** das placas e da **intensidade da luz**, conforme indicado na figura 18;

Figura 19 – Segunda banda e instrumentos.



Fonte: Autoria própria (2025)

Na sequência, assim que o aluno se posicionar na segunda bancada, deverá clicar com o botão Grip Buttom no botão azul localizado no canto esquerdo da bancada e alterá-lo para a cor **vermelha**, indicando que o experimento pode ser iniciado.

Figura 20 - Botão azul para iniciar a simulação (Efeito Fotoelétrico).

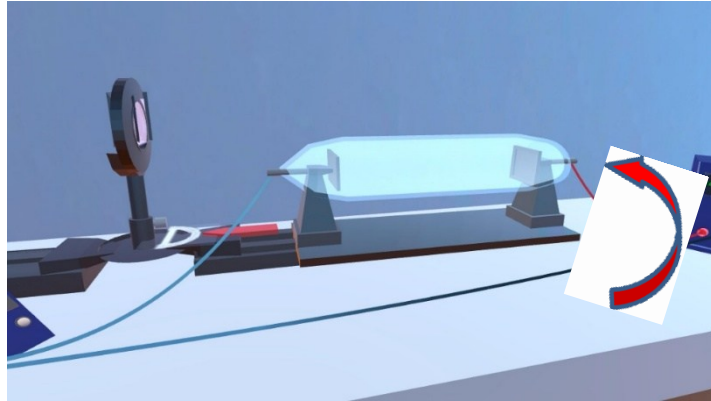


Fonte: Autoria própria (2025)

Em seguida, o aluno deverá ajustar a base que contém as placas metálicas **a vácuo** para o **mesmo ângulo** em que o anteparo foi deixado na etapa anterior,

correspondente ao **comprimento de onda previamente selecionado**. Assim, esse comprimento de onda **incidirá** sobre a placa emissora (**cátodo**).

Figura 21 – Base com as placas de metal ao vácuo



Fonte: Autoria própria (2025)

Em seguida, o aluno deve ir até a **fonte de tensão** e ajustar a tensão inicial para **1V clicado no botão Grip Buttom** (botão de aderência). Depois, posicionar-se **em frente à** mesa controladora, onde poderá alterar as variáveis: **tipo de metal das placas** e **intensidade da luz** da lâmpada de mercúrio com o controle direito no **botão Grip Buttom**, conforme mostrado na figura 22.

Figura 22 – Mesa controladora para o metal das placas e intensidade da luz



Fonte: Autoria própria (2025)

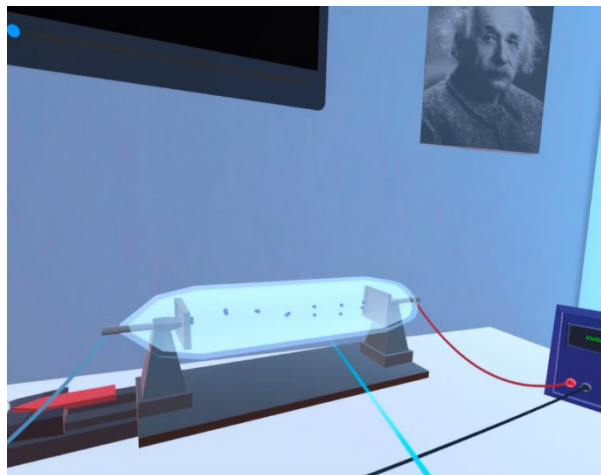
No decorrer no teste de cada metal, o aluno deve ir olhando a placa emissora (Catodo) e verificar se está acontecendo a rejeição de elétrons.

- Para cada metal existe um limite ou limiar de frequência mínima de luz  $\nu_0$  abaixo do qual o efeito não é observado.
- Mesmo com uma diferença de potencial (o ânodo com carga negativa) pode-se observar o aparecimento de foto-corrente, evidenciando que os elétrons são extraídos com um valor energético capaz de vencer o campo elétrico oposto.
- Esse valor do potencial tem um máximo de energia cinética  $E_{c(máx)}$ , pois quando o potencial retardo adquire um valor  $U_0$  não é possível apreciar o efeito. O valor do potencial de retardo e, portanto, de  $E_{c(máx)}$  não depende da intensidade da radiação incidente, mas sim da frequência da luz incidente sobre o metal.

Se a energia do fóton  $h\nu$  é menor que  $\phi$  não acontece o fenômeno. Assim, a frequência limite é dada pela relação  $h\nu_0 = \phi$

Nesse sentido, a energia do elétron ejetado equivale a  $E_{c(máx)} = hf - h\nu_0$  considerando que depende da frequência do corte de cada metal. O processo de absorção de um fóton pelo elétron pode ser considerado como um fato que acontece instantaneamente.

Figura 22 – Rejeição de elétrons

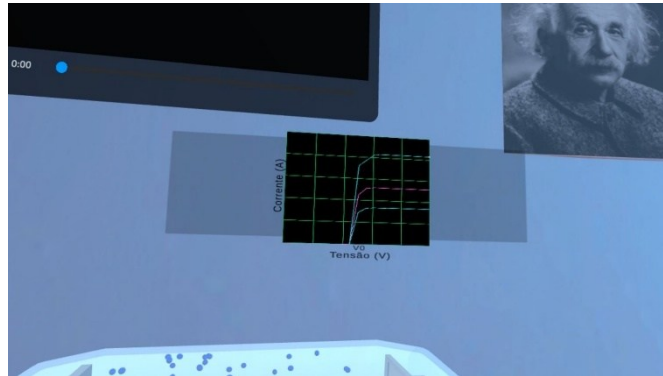


Fonte: Autoria própria (2025)

Quando o aluno percebe que a placa de metal (catodo) está rejeitando elétrons, pode variar a intensidade da luz (recomenda-se ir variando devagar de uma

escala por vez) e ver o que acontece no fenômeno. Ao mesmo tempo observar no amperímetro se há corrente elétrica, ademais do gráfico que está sendo gerado automaticamente de forma virtual como se indica na figura 23;

Figura 23 – Gráfico da corrente em função do potencial elétrico



Fonte: Autoria própria (2025)

Finalmente, poderá repetir o mesmo processo para cada metal e ir preenchendo a seguinte tabela 1 para depois usar nas análises e debates em grupo.

Tabela 1 – Valores para serem preenchidos durante a simulação

Metal utilizado	$\lambda$ (nm)	Frequência da luz (Hz)	Emissão de elétrons (Sim/Não)

Fonte: Autoria própria (2025)

**Verificação de aprendizagem.**

Para finalizar, propor um debate nos grupos, após testarem a segunda simulação.

**Responder as seguintes questões:**

1. Comparar os dados coletados na simulação com diferentes metais e intensidades da luz.
2. Quando você aumentou a o potencial, que se observou na rejeição de elétrons?

Por que abaixo do limiar não ejeta elétrons?

**Condição de limiar (frequência de corte):**

$$f_0 = \frac{\phi}{h} \quad \text{ou} \quad \lambda_0 = \frac{c}{f_0}$$

Equação fotoelétrica (Einstein)

$$k_{max} = hf - \phi$$

**Sugestões para Debate – Dualidade Onda-Partícula**

1. No experimento de **difração da luz**, quais evidências indicam que a luz se comporta como uma onda?
2. No experimento de **efeito fotoelétrico**, quais observações sugerem que a luz se comporta como um conjunto de partículas (fótons)?
3. Por que não conseguimos explicar o efeito fotoelétrico usando apenas o modelo ondulatório da luz?
4. Como a dualidade onda-partícula é evidenciada ao comparar os experimentos de difração e efeito fotoelétrico?

## 7. REFERÊNCIAS

GIRAFFA, M. M. L.; MORAES, C. M. e MACHADO, J. M. Cenário atuais das tecnologias digitais na educação básica. In: Dantas, G. L.; Machado, J. M. **Tecnologias e educação: Perspectivas para gestão, conhecimento e prática docente**. 2ª Edição. São Paulo: FDD Editora. Parte I. 2015, p.19-30.

GOMES, L. L. e MOITA, C. S. G. F. O uso de laboratório de informática educacional: partilhando vivências do cotidiano escolar. In: Souza, P. L.; Bezerra, C.C.; Silva, M. E. **Teoria e práticas em tecnologias educacionais**. Paraíba: UEPB. 2016, p.149-170.

GUIMARÃES JUNIOR, José Carlos et al. Desenvolvimento cognitivo e tecnologias educacionais. **Revista Aracê**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 1, p. 142-154, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/arev6n1-008>. Acesso em: 21 abril 2025.

JÚLIO, Edgar Magalhães; DONAT, Heldo. As concepções das aplicações da mediação tecnológica na educação. **Semana Acadêmica**, 2024. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/concepcoes-das-aplicacoes-da-mediacao-tecnologica-na-educacao-0>. Acesso em: 6 de maio 2025.

MATOVU, Henry et al. Immersive virtual reality for science learning: design, implementation, and evaluation. **Studies in Science Education**, v. 59, n. 2, p. 205–244, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2082680>.

SHULMAN, L.S. Paradigms and research programs for the study of teaching. In M.C. Wittrock (Ed.), **Handbook of research on teaching (3rd ed.)**. New York: Macmillan. 1986.

## **ANEXO A – Aprovação do projeto comitê de ética**

UNIVERSIDADE  
TECNOLOGICA FEDERAL DO  
PARANÁ - UTFPR



## PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** SIMULAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL APLICADA NO ENSINO E APRENDIZAGEM DA FÍSICA MODERNA: DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA/EFEITO FOTOELÉTRICO

**Pesquisador:** ROMEU MIQUEIAS SZMOSKI

**Área Temática:**

**Versão:** 4

**CAAE:** 86578224.3.0000.5547

**Instituição Proponente:** UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 7.619.960

#### Apresentação do Projeto:

Segundo o pesquisador:

Incorporar tecnologias na prática de ensino é um desafio que persiste nas diversas áreas dentro das ciências. Da mesma forma, a compreensão de princípios físicos muitas vezes requer abordagens que vão além dos métodos tradicionais. Com isso, se torna importante a utilização de estratégias pedagógicas junto com ferramentas (TDE) no ensino de Física, modernizando a abordagem pedagógica e, ao mesmo tempo, desempenhando um papel crucial no engajamento dos alunos. Ademais, a utilização da tecnologia digital no âmbito educativo traz junto uma evolução com relação aos conhecimentos sobre quais são as opções de recursos tecnológicos e como eles podem servir como apoio nas estratégias didáticas para ensinar um determinado conteúdo. Segundo Ferreira et al, (2021) a incorporação das TDE converteu-se em um processo que vai muito além do uso de ferramentas tecnológicas que compõem o ambiente educacional, mas compõe-se em uma construção didática, que envolve criar e consolidar a aprendizagem. Como resultado dessa procura, na última década, ainda intensificada pela pandemia Covid-19, que segundo Oliveira A, Lucas T, Iquiapaza R, (2020), foi um dos momentos mais difíceis enfrentados nos últimos tempos, que afetou significativamente a educação. O sistema educativo enfrentou mudanças rapidamente com o uso de recursos tecnológicos, junto com diversas estratégias, com o fim de fazer com que o processo de ensino-

**Endereço:** SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

**Bairro:** REBOUÇAS **CEP:** 80.230-901

**UF:** PR **Município:** CURITIBA

**Telefone:** (41)3310-4494

**E-mail:** coep@utfpr.edu.br

**UNIVERSIDADE  
TECNOLOGICA FEDERAL DO  
PARANÁ - UTFPR**



Continuação do Parecer: 7.619.960

tempo e a critério dos pesquisadores nos casos de relevância, além do envio dos relatos de eventos adversos para conhecimento deste Comitê. Salientamos a obrigatoriedade do envio do relatório final da pesquisa. Eventuais modificações ou emendas ao projeto devem ser apresentadas ao CEP UTFPR-Curitiba de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificado, com as respectivas justificativas apontadas em documento anexo à Plataforma Brasil e na mesma.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2347305.pdf	13/05/2025 14:45:11		Aceito
Outros	Questionarios.pdf	13/05/2025 14:44:52	RICHAR DURÁN	Aceito
Outros	CARTA_RESPOSTA.pdf	12/05/2025 16:44:57	RICHAR DURÁN	Aceito
Declaração de Pesquisadores	TERMO_DE_COMPROMISSO_assinado_pdf.pdf	12/05/2025 16:44:04	RICHAR DURÁN	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_pdf.pdf	12/05/2025 16:43:01	RICHAR DURÁN	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_DETALHADO.pdf	12/05/2025 16:41:35	RICHAR DURÁN	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Mod_3_TermodeAutorizaoinstitucional_assinado.pdf	14/03/2025 10:48:05	RICHAR DURÁN	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto_nova_assinado_assinado.pdf	18/02/2025 13:07:52	RICHAR DURÁN	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Endereço:** SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)  
**Bairro:** REBOUÇAS **CEP:** 80.230-901  
**UF:** PR **Município:** CURITIBA  
**Telefone:** (41)3310-4494 **E-mail:** coep@utfpr.edu.br