



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - CCT
UNIDADE ACADÊMICA DE FÍSICA - UAF
CURSO DE FÍSICA LICENCIATURA**

JOSÉ BRUNO MARQUES FERREIRA

EXPLORANDO CONCEITOS DE RELATIVIDADE RESTRITA ATRAVÉS DA ARTE

**CAMPINA GRANDE
2024**

JOSÉ BRUNO MARQUES FERREIRA

EXPLORANDO CONCEITOS DE RELATIVIDADE RESTRITA ATRAVÉS DA ARTE

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado à coordenação do curso de Física Licenciatura do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências legais para a obtenção do título de licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. José Wagner Cavalcanti Silva

**CAMPINA GRANDE
2024**

F383e

Ferreira, José Bruno Marques.

Explorando conceitos de relatividade restrita através da arte / José Bruno Marques Ferreira. – Campina Grande, 2024.

38 f. : il. color.

Monografia (Licenciatura em Física) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. José Wagner Cavalcanti Silva".

Referências.

1. Física – Estudo e Ensino. 2. Ensino Médio – Ensino de Física.
3. Relatividade Restrita – Arte. I. Silva, José Wagner Cavalcanti. II. Título.

CDU 53(07)(043)

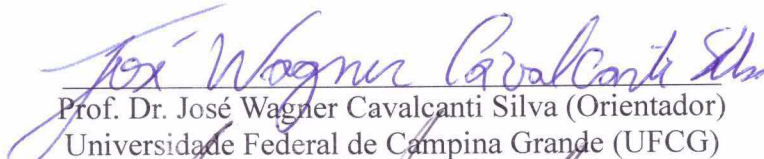
JOSÉ BRUNO MARQUES FERREIRA

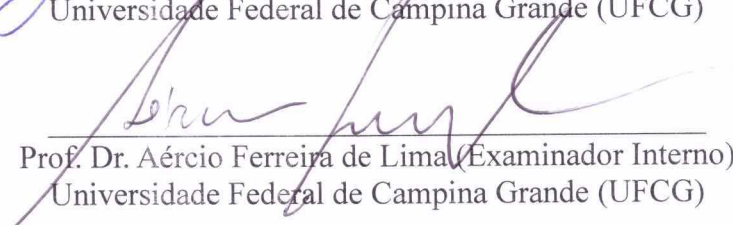
EXPLORANDO CONCEITOS DE RELATIVIDADE RESTRITA ATRAVÉS DA
ARTE

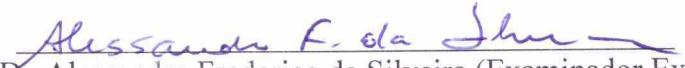
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Unidade Acadêmica de
Física da Universidade Federal de
Campina Grande como requisito para a
obtenção do título de Licenciatura plena
em Física.

Data da defesa: 05/06/2024.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. José Wagner Cavalcanti Silva (Orientador)
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)


Prof. Dr. Aécio Ferreira de Lima (Examinador Interno)
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)


Prof. Dr. Alessandro Frederico da Silveira (Examinador Externo)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Dedico este trabalho ao meu pai, Miguel

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado forças para chegar até aqui.

A minha família por todo amor e carinho que recebi nos últimos dias com a dor da perda de meu pai.

A minha melhor amiga Jéssica, por ser essa pessoa tão especial em minha vida e estar sempre presente nos momentos em que mais precisei. Sou muito grato pela nossa amizade e por todos os momentos que passamos juntos, eu honestamente não tenho palavras para expressar o quanto você é importante para mim.

Agradeço a Stefany por todo amor e apoio incondicional vindo de você. Obrigado por ser sempre tão compreensiva comigo e não se irritar quando te pergunto três vezes (no mínimo) a mesma coisa.

Agradeço a Raiff por todos os momentos divertidos que passamos juntos e a Joaquim por ter me ajudado a cuidar da minha autoestima e me ajudar a lidar com todos meus problemas. Obrigado por serem sempre muito pacientes comigo.

Agradeço a Thalita por ser minha dermatologista e psiquiatra particular.

Agradeço aos colegas da graduação por todo apoio nos estudos, especialmente a Albanisa, Ana, Allan, Diego, Anailza, Lucas e Fabiana. Também a Esterfania, Larissa, João Paulo e Feijó, pelos momentos felizes compartilhados.

Sou grato a CAPES, pelo apoio financeiro durante grande parte da graduação onde tive a oportunidade de ter meus primeiros contatos em sala de aula por meio do PIBID e da Residência Pedagógica, no qual tive a honra de ser orientado pela professora Dra. Mirleide Dantas Lopes e pelo professor Dr. Alexandre Campos.

Ao Prof. José Wagner, pela excelente coorientação.

Aos professores participantes da banca examinadora pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos professores da unidade acadêmica de Física, por toda ajuda em minha formação. Em especial destaco a Professora Daisy que tanto me ajudou nesta etapa final do curso.

Ao professor Célio e professor Anderson, por terem me acolhido em suas respectivas escolas para que eu pudesse realizar meus estágios supervisionados.

*“And i wonder if you know what it means
To laugh as tears go by”
(Labi Siffre, 1972)*

RESUMO

Este trabalho aborda a integração de pinturas como recursos didáticos para facilitar a compreensão dos conceitos de Física Moderna pelos alunos do Ensino Médio. A pesquisa tem caráter qualitativo e sua natureza baseia-se na Pesquisa Baseada em Design (PBD) e investiga de que forma essa abordagem interdisciplinar pode impactar o processo de ensino-aprendizagem, especialmente em um contexto de mudanças na educação básica. A partir de uma revisão de literatura e fundamentação teórica, são discutidas as relações entre ciência e arte ao longo dos anos, bem como as transformações nas concepções de espaço e tempo na Física do Século XX. A metodologia inclui o desenvolvimento de aulas com a utilização de pinturas e a análise dos resultados obtidos, com destaque para a comparação entre turmas que receberam ou não os estímulos visuais. Os resultados e discussões apontam para uma melhora na compreensão dos conceitos de relatividade restrita pelos alunos que tiveram contato com as pinturas. A pesquisa destaca a importância da interdisciplinaridade e da inovação no ensino de Física, especialmente diante dos desafios atuais na área educacional.

Palavras-chave: Ensino Médio; Ensino de Física; Relatividade Restrita; Arte.

ABSTRACT

This study addresses the integration of paintings as didactic resources to enhance the understanding of Modern Physics concepts among high school students. The research is qualitative in nature and is based on Design-Based Research (DBR), investigating how this interdisciplinary approach can impact the teaching-learning process, particularly in the context of changes in basic education. Through a literature review and theoretical framework, the relationships between science and art over the years are discussed, along with the transformations in conceptions of space and time in 20th-century Physics. The methodology involves developing classes using paintings and analyzing the results, with a focus on comparing groups that did or did not receive visual stimuli. The results and discussions indicate an improvement in the comprehension of special relativity concepts by students exposed to the paintings. The research emphasizes the significance of interdisciplinarity and innovation in Physics education, especially given the current challenges in the educational field.

Key-words: High School; Physics Education; Special Relativity; Art.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Relação dos artigos encontrados	14
Figura 2 – Sistema de coordenadas	19
Figura 3 – Diagrama do experimento de Michelson-Morley	20
Figura 4 – Estação de Trem de Saint-Lazare (1876)	29
Figura 5 – Rede de relatividade (1953)	30
Figura 6 – A persistência da Memória (1931)	30
Figura 7 – Resposta de estudante da turma A referente à primeira pergunta	32
Figura 8 – Resposta de estudante da turma B referente à primeira pergunta	32
Figura 9 – Resposta de estudante da turma C referente à primeira pergunta	33
Figura 10 – Resposta de discente da turma A referente à segunda pergunta	33
Figura 11 – Resposta de aluno da turma B referente à segunda pergunta	34
Figura 12 – Resposta de discente da turma C referente à segunda pergunta	34
Figura 13 – Resposta de aluno da turma A referente à terceira pergunta	35
Figura 14 – Resposta de aluno da turma A referente à quarta pergunta	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Respostas compatíveis.	36
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Lista de artigos selecionados	15
Quadro 2 – Estrutura da atividade	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	As relações entre ciência e arte ao longo dos anos	17
3.2	A Física do Século XX: uma mudança de concepções sobre espaço e tempo	18
4	METODOLOGIA	25
5	ESCOLHA DAS PINTURAS	29
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

No Brasil o componente curricular de Física é frequentemente encarado com certa aversão por vários estudantes do ensino médio. Infelizmente, muitos não sentem motivação para aprender as teorias e conceitos dessa disciplina, às vezes por conta do caráter mais tradicional do ensino. Nesta forma de ensino, as aulas se resumem à memorização de equações e fórmulas, além da pouca discussão de contextos históricos que influenciam e influenciaram as ideias por trás das teorias. Por motivos como esse, para (Zanetic, 1990), "este ensino, mais do que deficiente, é realmente danoso por apresentar uma visão distorcida da Física enquanto ciência."

Muitos fatores contribuem para este cenário de aprendizagem mecânica, como a falta de professores qualificados, menor número de aulas ou até mesmo más condições de trabalho (Moreira, 2017). Apesar dos desafios, pesquisadores têm buscado formas de contornar e/ou resolver essas lacunas do ensino de Física.

Nesse sentido, a interdisciplinaridade tem ganhado cada dia mais destaque nas propostas de ensino, como é possível observar na pesquisa de (Mozena; Ostermann, 2014), onde foram selecionados 70 artigos, que, em sua maioria, trata-se de pesquisas publicadas em periódicos internacionais. Contudo, ao analisar a nacionalidade das instituições dos primeiros autores destes trabalhos, é possível observar que 58% se concentram na América, no Brasil e Estados Unidos da América, 47% e 11% respectivamente. Evidenciando, portanto, que a interdisciplinaridade tem sido objeto de estudo frequente nesses países.

Esse crescente número de trabalhos relacionados ao tema se dá ao fato dos novos moldes para a educação básica, se discutem conteúdos mais contextualizados, buscando relações e conexões com diversas áreas do conhecimento. Na tentativa de encontrar abordagens e mecanismos que atendam a essa nova perspectiva de ensino, surgem a cada dia novas estratégias e mecanismos que possam aumentar a eficiência no aprendizado de Física.

Por isso, este trabalho é motivado pela busca de métodos alternativos que possam superar as limitações do ensino tradicional de Física. O objetivo da nossa pesquisa foi responder o seguinte questionamento: "Qual a contribuição do uso de pinturas artísticas como recurso didático no estudo de conceitos de Relatividade Restrita na Educação Básica?". Com isso em mente propomos uma sequência de aulas aplicadas em uma turma de terceiro ano de ensino médio utilizando pinturas como artefatos pedagógicos para discutir conceitos de relatividade restrita.

Outra motivação foi a curiosidade em trabalhar os conteúdos da física de uma forma diferente do usual. A observação das aulas de Física no estágio supervisionado, estimulou o interesse nas pinturas. Especialmente em uma das aulas em que se discutia o conteúdo de dualidade-onda partícula no ano de 2023, quando apresentamos uma pintura de Salvador Dalí, "A desintegração da persistência da memória", como exemplo para ilustrar o conceito. Nesse momento os estudantes comentaram terem visto essa mesma obra, mas em um contexto diferente

(na disciplina de português), o que levou a turma a uma breve discussão em torno da pintura e suas diversas interpretações.

O trabalho está dividido em 7 capítulos, nos quais, na seguinte ordem, discutimos o estado da arte sobre as publicações voltadas para o ensino de Física e Arte, apresentamos as relações entre ciência e arte ao longo dos anos, seguido da metodologia da pesquisa, e a justificava da escolha das pinturas e por último, nos capítulos 6 e 7, apresentamos resultados obtidos e as considerações finais do trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Visando compreender o panorama das publicações relacionadas ao tema de Física e pinturas, realizamos um levantamento bibliográfico preliminar.

Seleção dos trabalhos

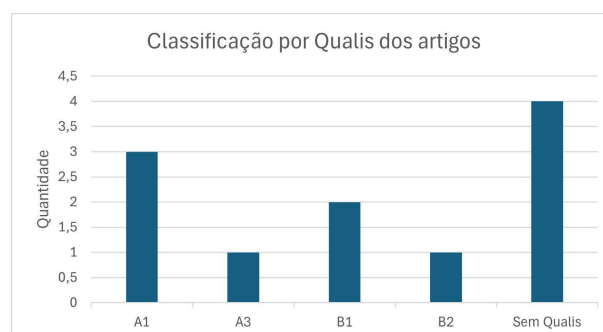
Utilizamos a plataforma online Google Acadêmico (Google Scholar), que permite aos usuários pesquisar e acessar uma ampla variedade de recursos acadêmicos, incluindo artigos científicos, teses, dissertações e outras publicações acadêmicas.

Para refinar nossa pesquisa e garantir maior precisão, concentramos nossos esforços nos temas que envolvem a interseção entre Arte e Física, utilizando operadores booleanos. Com base nisso, desenvolvemos um protocolo de pesquisa que incorpora as palavras-chave: Física, Arte, Surrealismo, Impressionismo, Ensino de Física e Pinturas.

Com base nesse protocolo de pesquisa, desenvolvemos a seguinte estratégia: **Física + arte | cultura + pinturas + "obras de arte" + impressionismo | surrealismo + "ensino de física"**. Esta abordagem gerou aproximadamente 53 resultados. Para essa pesquisa, não estipulamos um período para as publicações. Após uma análise mais detalhada, selecionamos apenas os artigos científicos, totalizando 11 trabalhos que atendiam aos critérios estabelecidos.

A figura a seguir mostra como os artigos estão distribuídos conforme a classificação Qualis das revistas.

Figura 1 – Relação dos artigos encontrados



Fonte: O autor

É de extrema importância observar a classificação desses trabalhos, pois, através dela, podemos identificar indícios da relevância do tema no meio acadêmico.

Análise dos artigos

A fim de compreender melhor como esses artigos abordam o uso das obras de arte no ensino de Física, procuramos analisar de que forma essa abordagem é realizada, seja apresentando a arte antes da discussão dos conceitos e teorias da física, ou adotando o processo contrário, onde os conceitos da física são discutidos primeiro, seguidos pela apresentação das pinturas.

Quadro 1 – Artigos encontrados

Artigo	Título	Ano	Autores	Qualis
1	Influências da Física Moderna na Obra de Salvador Dalí	2007	ANDRADE, R.R.D. de; NASCIMENTO, R. de S.; GERMANO, M.G.	A1
2	Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem	2007	GUERRA, A.; BRAGA, M.; REIS, J.C.	A1
3	Mecânica Quântica em sala de aula	2007	GUERRA, M; BRAGA, M.; REIS, J.C.	N/A
4	Física e pintura: dimensões de sua relação e suas potencialidades no ensino de física	2011	GOMES, T.C.; GIORGI, C.A.G. di.; RABONI, P.C. de A.	A1
5	As relações entre Ciência e a Arte no século XIX e o conceito de cor	2014	BRITO, N.B.de; REIS, J.C.	N/A
6	O uso das obras de Salvador Dalí como Caminho para se discutir conceitos de Física Moderna em sala de aula	2015	JARDIM, W.T.	N/A
7	A rede social Pinterest e a curadoria na educação científica: O exemplo do surrealismo de Dalí	2017	EICHLER, T.Z.N.; EICHLER, M.L.	N/A
8	A química sob(re) o corpo em Dalí e em Rabarama	2018	EICHLER, T.Z.N.; EICHLER, M.L.	A3
9	Arte e ciência no ensino interdisciplinar das ciências	2020	CACHAPUZ, A.	B1
10	Tempo e impressionismo: Análise temporal das relações entre as teorias de Newton e Einstein nas obras impressionistas	2021	SALES, F.H.S.; COSTA, E. de F.L.B.; BARBOSA, R.de O.	B2
11	Um emaranhar de caminhos históricos, epistemológicos e educativos para se pensar a arteciência	2022	JORGE, L.O.Q.; PEDUZZI, L.	B1

Fonte: O autor

Os artigos "Influências da Física Moderna na Obra de Salvador Dalí", "Física e pintura: dimensões de sua relação e suas potencialidades no ensino de física" e "Tempo e impressionismo: Análise temporal das relações entre as teorias de Newton e Einstein nas obras impressionistas" trazem uma abordagem mais teórica dos conteúdos, apresentando possíveis caminhos para relacionar e discutir a Física com as obras de arte no ensino. O primeiro trabalho aborda primeiro os conceitos da física e em seguida parte para explicação e análise das pinturas. Por sua vez, os trabalhos "Física e pintura: dimensões de sua relação e suas potencialidades no ensino de física" e "Tempo e impressionismo: Análise temporal das relações entre as teorias de Newton

e Einstein nas obras impressionistas" utilizam os conceitos da física para analisar e discutir as obras de arte, fazendo de certa forma um processo contrário do encontrado no primeiro artigo.

No artigo "As relações entre a Ciência e a Arte no século XIX e o conceito de cor" os autores realizaram uma atividade com alunos do 9º ano cujo foco se deu no uso de pinturas do movimento impressionista para que através da observação dos estudantes para discutir o conceito de cor.

De maneira geral, os artigos apresentam estruturas parecidas ao oferecerem sugestões de como promover uma discussão interdisciplinar entre a Física e Arte. Em maioria, trazem abordagens voltadas para o ensino de mecânica quântica no ensino médio. Dos resultados, apenas um artigo desenvolve diretamente as ideias e conceitos da relatividade.

O artigo "Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem" apresenta uma série de atividades conduzidas no 1º ano do ensino médio. O principal objetivo dessas atividades era estimular a reflexão dos estudantes sobre as diversas concepções de tempo e espaço que foram evoluindo ao longo dos anos. Neste trabalho, é interessante observar que o conteúdo foi trabalhado em turmas do 1º ano, além da forma como envolvimento dos estudantes se desenvolvia ao longo da atividade, e como seu interesse e curiosidade se desenvolvem a cada obra de arte analisada.

Observando o número de publicações acadêmicas com essa temática, percebemos uma escassez de estudos que abordam essa integração em sala de aula. E quando pensamos na perspectiva de aplicações efetivas em salas de aula, pesquisadores reconhecem as dificuldades. Sugerindo que, nas condições de ensino atuais, a aplicação dessas estratégias se torna cada vez mais inviável.

Nesse sentido, o artigo citado anteriormente serviu como inspiração para a criação da nossa proposta de ensino. Que conteve alterações para ser compatível com os modelos atuais de ensino.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Desde os primórdios da humanidade, a ciência e a arte estiveram intimamente ligadas, muitas vezes se influenciando mutuamente de maneiras surpreendentes. Neste capítulo discutimos de que maneira essas relações aconteceram com o passar do tempo.

3.1 As relações entre ciência e arte ao longo dos anos

Começando pelo período pré-histórico, observamos as pinturas rupestres presentes nas cavernas de Altamira na Espanha, esse foi o primeiro lugar do mundo a se observar a presença deste tipo de pintura. Mas é no nordeste brasileiro (Rio Grande do Norte e Paraíba) que se concentram grande parte da arte rupestre de todo o mundo, graças às características do clima que contribuíram para uma excelente conservação dessas representações. Essas obras de arte, além de serem expressões culturais, também podem ser vistas como uma forma primitiva de observação científica, já que retratavam animais e paisagens do ambiente ao redor (Proença, 2007), oferecendo percepções sobre a vida e o comportamento dos seres vivos naquela época.

À medida que as sociedades evoluíram, a arte e a ciência continuaram a se desenvolver lado a lado. Na Grécia antiga temos a expansão da discussão das questões científicas e filosóficas acerca da natureza trazida por grandes pensadores como Aristóteles. Os artistas gregos buscavam aprimorar as técnicas de esculturas e empenhavam-se em reproduzir corpos humanos belos e em movimento (Gombrich, 2000). A arquitetura daquela época demonstra compreensão avançada de matemática e, também, conceitos relacionados à acústica, uma vez que a arquibancada do teatro de Atenas foi desenhada de tal forma que permitia àqueles que estavam mais afastados do palco, pudessem ouvir com clareza os diálogos das peças teatrais.

Na Europa, a partir do século XI, temos o surgimento da arte românica, caracterizada pela arquitetura das igrejas, que consistia na utilização de conceitos relacionados à geometria para proporcionar maior iluminação no interior dos ambientes. A pintura se resume à ilustração dos livros religiosos, pois naquela época não eram todos que sabiam ler os escritos religiosos. A técnica utilizada para a realização dessas obras é a pintura "a fresco" que:

Sobre a superfície da parede é aplicada uma camada de reboco à base de cal, que, por sua vez, é coberta com uma camada de gesso fina e bem lisa. É sobre essa última camada que o autor o pintor executa sua pintura. Ele deve trabalhar com a argamassa ainda úmida, pois com a evaporação da água, a cor adere ao gesso, o gás carbônico do ar combina-se com a cal e a transforma em carbonato de cálcio, completando assim a adesão do pigmento à parede (Proença, 2007, p.61).

Chegando no Século XIII observamos o surgimento e evolução da pintura gótica que embora possua características semelhantes à arte românica, ou seja, os pintores ainda possuem certo foco em ilustrar e representar elementos voltados ao religioso, mas com a aparência dos anjos e humanos sendo muito semelhantes. Isso trouxe um tom mais humanista às obras.

Nas pinturas dessa época é possível notar os efeitos de distância postos nas obras que causam diferentes percepções visuais no observador. As mudanças de perspectiva trazidas pela arte gótica serviram de palco para a transição da idade média para a idade moderna, onde emergiram os ideais renascentistas.

Considerado o espírito do renascimento, o humanismo traz como principal característica a valorização do ser humano, isso se intensifica com o desenvolvimento da ciência daquela época (Aleksandrowicz; Minayo, 2005). Nesse sentido, o movimento renascentista se preocupa em expressar o homem como a obra perfeita do criador, sempre valorizando percepções científicas do mundo. As pinturas dessa fase são caracterizadas pelas noções de profundidade e volume causadas pelo contraste entre claro e escuro.

São muitos artistas que marcaram essa época, mas aqui cabe destacar a influência das obras de Leonardo da Vinci (1452 - 1579), que conseguia combinar as habilidades artísticas com sua profunda curiosidade científica em suas obras. Ele é o criador de duas das pinturas mais conhecidas de toda a história, "Mona Lisa" e "A Última Ceia". Mas suas contribuições não param por aqui, Da Vinci realizou estudos detalhados sobre a anatomia humana visando ilustrar e representar com clareza a anatomia do homem (Kickhöfel, 2011).

Após o renascimento, as pinturas barrocas de artistas como Caravaggio (1571 - 1610), se destacaram pelo contraste entre cores claras e escuras, dando um foco na representação as emoções e sentimentos humanos, intensificando o interesse crescente na óptica e na percepção visual. A arte barroca desenvolveu-se ao longo do século XVII, em meio à revolução científica impulsionada principalmente pela figura de Galileu Galilei (1564 - 1642) que desafiou as concepções estabelecidas do universo, influenciando indiretamente os artistas que buscavam representar a complexidade do mundo natural de maneira mais precisa.

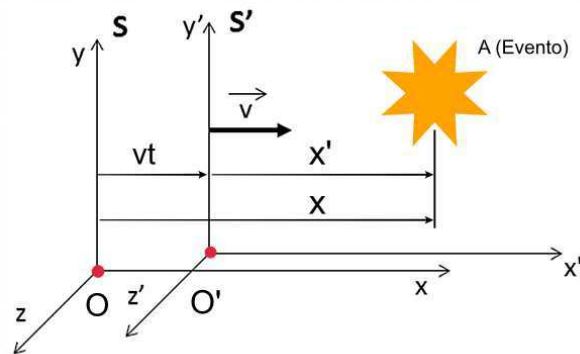
A Revolução Industrial marcou outro ponto de inflexão na relação entre arte e ciência. Novas tecnologias, como a fotografia, não apenas mudaram a maneira como os artistas representavam o mundo, mas também abriram novas possibilidades para a exploração científica. No século XX, movimentos artísticos como o Cubismo e o Surrealismo refletiram os avanços científicos e tecnológicos da época, explorando ideias de múltiplas perspectivas e realidades alternativas. Ao mesmo tempo, os próprios cientistas foram inspirados pela criatividade e inovação dos artistas.

3.2 A Física do Século XX: uma mudança de concepções sobre espaço e tempo

Ao contrário do que muitos pensam, a ideia de relatividade já vinha sendo discutida por muitos outros cientistas há vários anos. Galileu, por exemplo, já acreditava que as leis que descreviam o movimento eram independentes do observador. Anos depois, com as considerações da mecânica newtoniana, espaços que estão em movimento uniforme ou em repouso são chamados de referenciais inerciais.

Na figura 2 o referencial S' se movimenta com velocidade \vec{v} em relação ao referencial

Figura 2 – Sistema de coordenadas



Fonte: UFABC (2008)

S que está em repouso. Considerando que a origem do sistema de referência S coincide com o referencial S' no momento em que $t = 0$, é natural pensar que no instante de tempo t , a origem do referencial S' está à direita da origem de S (já que a velocidade \vec{v} aponta na direção de x positivo) a uma distância vt . Para um evento que ocorre no ponto A um observador que está no referencial S descreve o evento nas coordenadas (x, y, z, t) , já outro observador que está em S' descreve esse mesmo evento em coordenadas (x', y', z', t') . Observando a figura 2 podemos relacionar as coordenadas como sendo

$$x' = x - vt \quad y' = y \quad z' = z \quad (3.1)$$

Na interpretação da mecânica clássica, o tempo que um observador em movimento marcasse em seu relógio era o mesmo para um observador que estivesse em repouso, ou seja

$$t' = t \quad (3.2)$$

Essas equações são as chamadas transformações de coordenadas de Galileu.

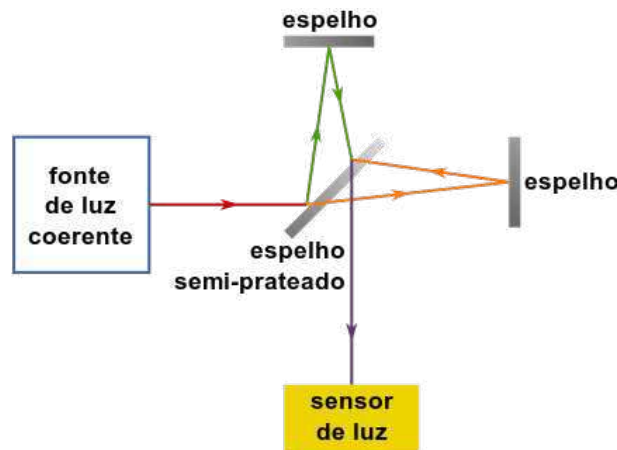
Aqui, espaço e tempo possuíam uma natureza absoluta, ou seja, eles não mudavam conforme a natureza do observador. Considerando as adições de velocidades galileanas, a velocidade da luz de uma lanterna em movimento seria mais rápida que a luz de uma lanterna em repouso, em relação a um mesmo referencial, já que a velocidade da luz no primeiro caso seria a soma entre a velocidade da lanterna e a luz da lanterna em repouso.

Maxwell, anos mais tarde, publicou suas famosas equações que ajudaram a descrever a luz como sendo uma onda eletromagnética que viaja a uma velocidade c de aproximadamente 299.792.458 m/s no vácuo. Isso tudo gerou incompatibilidades com a mecânica newtoniana porque, na concepção clássica, a velocidade da luz dependeria de um referencial. Como o conceito de onda mecânica era muito bem estabelecido naquele tempo, os cientistas daquela época acreditavam que as ondas eletromagnéticas também precisariam de um meio para se propagar. Nesse sentido, os pesquisadores começaram acreditar que uma substância que eles

chamaram de éter seria o meio pelo qual a luz se propagaria e o referencial adotado para que a velocidade fosse c .

Após a tentativa de diversos pesquisadores, foi durante os anos de 1880 a 1890 que os americanos Albert Michelson e Edward Morley construíram um interferômetro com um separador de feixe (espelho semi-refletor) e outros dois espelhos planos (um fixo e um móvel), todos dispostos sobre uma mesma base.

Figura 3 – Diagrama do experimento de Michelson-Morley



Fonte: Escham (2007)

Observando a figura 3, vemos que a luz que sai da fonte no lado esquerdo encontra-se com o separador de feixe (espelho semi-prateado) parte dessa luz atravessa e segue ao encontro do espelho da direita, enquanto a outra parte é refletida para o espelho superior central. Em seguida, a luz retorna para o espelho semi-prateado e se propaga em direção ao sensor de luz. O objetivo desse experimento era mostrar que o tempo que o raio de luz (representado na figura pela cor laranja) leva para refletir no espelho da direita e voltar seria diferente do feixe de luz representado pela cor verde, isso porque o espelho da direita estava em teoria, sob ação do "vento do éter" (causado pela velocidade da órbita da terra) que soprava com uma velocidade \vec{v} contrária a velocidade \vec{c} do raio de luz. Porém, apesar das inúmeras tentativas, todas as medições falhavam, indicando que a teoria do éter era um fracasso (Serway Raymond A.; W. Jewett Junior, 2014). Com o passar dos anos, Albert Einstein trouxe com a teoria da relatividade restrita uma nova concepção sobre a natureza da luz, e que com o tempo passou a ser aceita como uma onda eletromagnética que não precisa de um meio para se propagar.

Em 1905 Einstein publicou o trabalho "Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento" que resolvia as incompatibilidades geradas pela natureza da luz, e mudaria de vez com a compreensão dos conceitos de tempo e espaço. No artigo, Einstein por meio de dois postulados desenvolve a Teoria da Relatividade Restrita (TRR).

1. Princípio da relatividade: todas as leis da Física são as mesmas em quaisquer referenciais inerciais;

2. A constância da velocidade da luz: a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor em todos os referenciais inerciais, independentemente da velocidade do observador ou da velocidade da fonte emissora de luz.

Enquanto Galileu em seu princípio da relatividade afirma que as leis da mecânica são válidas em todos os referenciais que estejam em movimento retilíneo uniforme um em relação a outro, Einstein vai além e em seu primeiro postulado da TRR vai além ao afirmar que *todas* as leis da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais, isso implica dizer que é impossível detectar o movimento absoluto. No segundo postulado, Einstein afirma que a luz sempre se move com a velocidade c constante, explicando finalmente os fracassos de vários pesquisadores que tentaram comprovar sua existência. Isso gerou algumas consequências mudando completamente as concepções sobre tempo e espaço da mecânica clássica.

Simultaneidade

A simultaneidade na TRR desafia a noção intuitiva da mecânica clássica de que eventos simultâneos em um referencial são simultâneos em quaisquer referenciais, pois conforme a teoria de Einstein, a simultaneidade passa a ser relativa, ou seja, depende do referencial do observador.

Um exemplo clássico para ilustrar a relatividade da simultaneidade é o experimento mental do trem. Imagine um trem em movimento com um observador no meio do vagão. Dois raios de luz são emitidos simultaneamente de cada extremidade do vagão em direção ao observador. Para o observador dentro do trem, os dois raios de luz chegam ao mesmo tempo, indicando que os eventos (emissão dos raios) foram simultâneos.

Agora, considere um observador parado na estação, vendo o trem passar. Para este observador, a extremidade do vagão para onde o trem se move (dianteira) está se afastando da luz emitida da traseira do vagão, enquanto a extremidade de onde o trem está se afastando (traseira) está se aproximando da luz emitida da dianteira. Como a velocidade da luz é constante para ambos os observadores, o observador na estação verá a luz atingir a extremidade dianteira antes que atinja a extremidade traseira. Portanto, para este observador, os eventos de emissão dos raios de luz não foram simultâneos.

Este experimento mental mostra que dois eventos simultâneos em um referencial podem não ser simultâneos em outro referencial que se move em relação ao primeiro. Esse resultado tem implicações profundas para a nossa compreensão do tempo e do espaço, levando à conclusão de que o tempo não é absoluto, mas depende do estado de movimento do observador.

Portanto, a Relatividade Restrita revela que a simultaneidade não é uma propriedade universal, mas relativa ao movimento do observador, desafiando as noções clássicas de tempo e espaço que eram baseadas na física de Newton.

Dilatação do tempo

O fenômeno se refere a diferença nos intervalos de tempo medidos entre dois eventos por observadores em diferentes referenciais inerciais. Para melhor compreender a ideia podemos imaginar a seguinte situação:

Considere dois observadores: um em repouso em relação à Terra e outro viajando em uma nave espacial a uma velocidade próxima à da luz. Se ambos sincronizarem seus relógios no momento da partida, depois de algum tempo, os dois observadores compararão seus relógios. Conforme a Relatividade Restrita, o observador em repouso verá que o relógio do viajante está atrasado em relação ao seu próprio relógio. Ou seja, menos tempo terá passado para o observador em movimento. A dilatação do tempo pode ser quantificada pela equação

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3.3)$$

onde:

- $\Delta t'$ é o intervalo de tempo medido pelo observador que está em movimento;
- Δt é o intervalo de tempo medido pelo observador em repouso (chamado de tempo próprio);
- v é a velocidade relativa entre os observadores;
- c é a velocidade da luz no vácuo.

Através da equação 3.3 podemos perceber que a dilatação do tempo não pode ser observada no nosso dia a dia porque para velocidades baixas a razão $\frac{v^2}{c^2}$ é sempre muito próxima de 0, o que nos leva à

$$\Delta t' = \Delta t \quad (3.4)$$

Isso significa que um observador em um carro que viaja a $72km/h$ medirá o mesmo intervalo de tempo que um observador que está em repouso.

Contração do espaço

Contração do espaço refere-se ao fenômeno em que um objeto em movimento em relação a um observador parece ser mais curto ao longo da direção do movimento do que quando o objeto está em repouso em relação a esse observador. Em outras palavras, o comprimento de um objeto em movimento é medido como menor do que o comprimento do mesmo objeto em repouso.

Para ilustrar a contração do comprimento, vamos considerar um objeto em movimento uniforme a uma velocidade significativa em relação a um observador. Se esse objeto tem um comprimento próprio L_0 (o comprimento medido no referencial onde o objeto está em repouso),

um observador que vê esse objeto passando em alta velocidade medirá um comprimento menor L' . A contração do espaço é dada pela equação

$$L' = L_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (3.5)$$

onde:

- L_0 é o comprimento próprio (o comprimento do objeto em seu próprio referencial);
- L é o comprimento medido pelo observador em movimento relativo ao objeto;
- v é a velocidade relativa entre o observador e o objeto;
- c é a velocidade da luz no vácuo.

As novas transformações de coordenadas

As chamadas transformações de Lorentz surgem da necessidade de manter a invariância da velocidade da luz em todos os referenciais inerciais, um dos postulados da Relatividade Restrita. Elas substituem as transformações de Galileu, usadas na mecânica clássica, e assumem que o tempo é absoluto.

Utilizando o mesmo sistema de referência da figura 2, o evento A no referencial S terá as seguintes coordenadas $A(x, y, z, t)$ e, de maneira análoga, no referencial S' as coordenadas são $A(x', y', z', t')$, se observássemos a figura 2 da perspectiva da mecânica clássica diríamos que $x = vt + x'$, mas isso não seria possível por conta da alta velocidade v , e, também, porque x e x' são medidas de referenciais diferentes. Então, devemos considerar a contração do comprimento para determinar o valor medido de x' no observador que está no referencial S , dessa forma ficamos com:

$$x = vt + \frac{x'}{\gamma} \quad (3.6)$$

Lembrando que $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ (que é o fator de Lorentz) isolamos então x'

$$x' = \gamma(x - vt) \quad (3.7)$$

Para encontrar as transformações de tempo, basta substituir x' na equação 3.6, ficamos então com

$$x = \gamma(\gamma(x - vt) + vt') \quad (3.8)$$

$$x = \gamma^2(x - vt) + (\gamma vt') \quad (3.9)$$

Sabendo que $\gamma^2 = \frac{1}{1-\beta^2}$, podemos escrever (3.9) como

$$x = \frac{x - vt}{1 - \beta^2} + \gamma vt' \quad (3.10)$$

Fazendo algumas manipulações algébrica expressamos t' como sendo

$$t' = \gamma^2 \frac{t - x \frac{v}{c^2}}{\gamma} \quad (3.11)$$

Finalmente

$$t' = \gamma \left(t - \frac{vx}{c^2} \right) \quad (3.12)$$

Agora, de maneira geral, as transformações de Lorentz são

$$\begin{aligned} x' &= \gamma(x - vt) & y' &= y & z' &= z \\ t' &= \gamma \left(t - \frac{vx}{c^2} \right) \end{aligned} \quad (3.13)$$

As transformações de Lorentz são um pilar central da Teoria da Relatividade Restrita, fornecendo uma descrição precisa de como o espaço e o tempo se inter-relacionam para observadores em diferentes estados de movimento. Elas representam uma mudança paradigmática em relação às noções clássicas de espaço e tempo, revelando a natureza profundamente interligada do espaço-tempo.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo apresentamos a metodologia da pesquisa, além da descrição da atividade voltada para o ensino de Física em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio.

Sobre a natureza da pesquisa

A Pesquisa Baseada em Design (PBD) foi fundamental neste estudo para orientar a abordagem metodológica adotada. Segundo (Kneubil; Pietrocola, 2017), a PBD é uma metodologia que integra a pesquisa e o design, permitindo a criação de soluções inovadoras para problemas complexos. No contexto deste trabalho, a PBD foi aplicada para desenvolver e implementar a atividade de ensino de Física, que envolveu a integração de obras de arte como recursos didáticos. A abordagem interdisciplinar entre ciência e arte, guiada pela PBD, buscou promover uma aprendizagem mais significativa e estimulante para os alunos do Ensino Médio, especialmente no estudo dos conceitos de relatividade restrita.

Segundo (Kneubil; Pietrocola, 2017) a PBD é uma metodologia que integra a pesquisa e o design, permitindo a criação de soluções inovadoras para problemas complexos. No âmbito da educação a PDB pode contribuir com aspectos teóricos. Nesse sentido, (Kneubil; Pietrocola, 2017) apresentam oito etapas para caracterizar a PBD, sendo: identificação do problema, revisão da literatura, definição dos princípios de design, desenvolvimento da intervenção, Implementação, Avaliação e análise, refinamento e iteração, disseminação dos resultados. Essas características são discutidas em detalhes no artigo “A PESQUISA BASEADA EM DESIGN: VISÃO GERAL E CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS” de Fabiana Botelho Kneubil e Maurício Pietrocola. Este trabalho apresenta uma visão geral da PBD e suas contribuições para o ensino de ciências. Ele descreve a metodologia envolvida na PBD e como ela tem sido usada para planejar, implementar e avaliar sequências de ensino-aprendizagem (TLS) de conteúdos específicos.

Aplicação da Pesquisa Baseada em Design (PBD) no trabalho:

Inicialmente, o problema de pesquisa foi identificado, destacando a necessidade de estratégias inovadoras para aprimorar o processo de ensino-aprendizagem nessa área específica. Uma revisão da literatura foi conduzida, explorando a integração de arte, como pinturas, como recurso didático no ensino de Física, e analisando estudos anteriores sobre a relação entre ciência e arte, bem como as transformações na Física do Século XX.

Com base nesse embasamento teórico, os princípios de design foram definidos, priorizando a interdisciplinaridade entre ciência e arte, especialmente no estudo dos conceitos de Relatividade Restrita. Uma atividade de ensino de Física foi então desenvolvida, integrando pinturas como recursos didáticos para abordar esses conceitos, seguindo os princípios estabelecidos pela PBD.

Posteriormente, a atividade foi implementada em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio em uma escola estadual, permitindo aos alunos vivenciarem a interação entre arte e ciência no processo de aprendizagem. Como forma de comparação, foi aplicada uma atividade semelhante nas outras duas turmas de 3º ano (turmas de referência), mas sem o uso das obras de arte como recurso de didático. Após a implementação, as respostas dos estudantes foram coletadas e analisadas em um questionário objetivo para avaliar o impacto do uso de pinturas na compreensão dos conceitos de Física Moderna, especialmente de Relatividade Restrita.

Identificaram-se pontos de melhoria na atividade com base na análise dos resultados, indicando caminhos para um re-design com o intuito de aprimorar a atividade. Por fim, os resultados da pesquisa estão sendo disseminados neste documento. Com o intuito de compartilhar as descobertas e inspirar futuras pesquisas e práticas educacionais.

A proposta da atividade

A atividade foi desenvolvida em uma escola estadual localizada na zona oeste do município de Campina Grande na Paraíba. A instituição funciona na modalidade de ensino integral no qual os estudantes chegam na escola às 07:30h e saem às 17:00h, a escola acolhe os programas de PIBID (Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência) e Residência Pedagógicas das três IES situadas na cidade. Por esse motivo, os estudantes estão sempre acostumados com a presença de atividades e eventos proporcionados pelos bolsistas e estagiários de diversas disciplinas, como Física, Biologia, Geografia e Língua Inglesa.

As aulas foram aplicadas para um total de 68 alunos do terceiro ano do ensino médio, distribuídos nas turmas A(24 estudantes), B(23 estudantes) e C(21 estudantes). Porém, apenas uma das três turmas recebeu a atividade com a inserção das obras de arte. Como forma de comparar os resultados e avaliar nossa proposta de atividade, foi desenvolvida nas outras duas turmas a mesma aula com o conteúdo de relatividade restrita, só que sem o recurso das pinturas. Na turma A foram realizadas as aulas com o recurso das obras de arte, enquanto as turmas B e C assistiram às aulas comuns de relatividade restrita.

Inicialmente a proposta era realizar em duas aulas toda a atividade na turma A. Porém, ao apresentarmos o plano ao professor da escola, ele sugeriu que devido à natureza do trabalho e sua complexidade, seriam necessárias mais do que duas aulas para discutir todo o conteúdo. Dessa forma, para a turma A utilizamos um total de cinco aulas para executar a atividade, enquanto nas turmas B e C o tempo previsto de dois momentos foi suficiente.

A execução da atividade na turma A foi planejada para iniciar com a introdução de um pequeno recorte histórico em forma de linha do tempo, destacando alguns acontecimentos do século XX sob a perspectiva da Física e da Arte. Nesse contexto, foi ressaltado o surgimento de movimentos artísticos, sempre fazendo um paralelo com os eventos contemporâneos na Física. Após a apresentação da linha do tempo, desafiou-se os estudantes a ouvirem a canção “120... 150... 200 km por hora” do cantor Roberto Carlos e a identificar elementos na letra da música

que pudessem ser relacionados aos conceitos da Física abordados ao longo do ensino médio. A ideia principal dessa atividade era demonstrar que, na referida música, os conceitos de velocidade e tempo são tratados conforme a visão newtoniana, sendo considerados como absolutos.

Depois de uma discussão breve sobre a letra da canção, os conceitos de velocidade e movimento relativo foram lembrados aos estudantes. Em seguida, introduziu-se a pintura “Estação de trem de Saint-Lazare (1876)”, obra do movimento impressionista do artista francês Claude Monet. A pintura apresenta dois trens e algumas pessoas no centro da imagem. Com o objetivo de identificar elementos na pintura que indicassem movimento, foram feitas perguntas para direcionar as discussões, como exemplo:

1. O trem da direita está parado ou se movendo?
2. O que podemos concluir sobre a velocidade de um passageiro que está dentro do trem?
3. O formato da fumaça pode indicar que os trens estão parados ou em movimento?

A partir desse momento, definimos o conceito de referencial inercial e abordamos a discussão sobre as transformadas de Galileu.

Nesse ponto, o conceito de referencial inercial foi definido e a discussão sobre as transformações de Galileu foi abordada. Com essas informações em mente, prosseguiu-se para a análise da segunda pintura, uma obra surrealista de 1953 do pintor holandês M.C. Escher, intitulada “Rede de Relatividade”. A simetria dos objetos presentes na obra serviu como base para a discussão sobre o primeiro postulada da relatividade, que afirma que as leis físicas devem permanecer invariantes em qualquer referencial inercial.

Para discutir o conceito de simultaneidade, foi apresentado um trecho da série Genius, que em sua primeira temporada aborda tanto bibliograficamente quanto de maneira fictícia a vida de Albert Einstein. Na cena, Einstein e seu colega são vistos discutindo sobre um experimento mental proposto por Einstein para explicar o fenômeno da simultaneidade. Esse fenômeno se refere à ideia de que eventos que parecem ocorrer ao mesmo tempo para um observador podem não ser considerados simultâneos por outro observador em movimento relativo.

Após essa discussão, as implicações de Lorentz e Poincaré na formulação das equações que passaram a ser chamadas de transformações de Lorentz foram introduzidas. Foi feito um paralelo com as mudanças em relação às ideias e transformações propostas por Galileu, destacando a mudança nas interpretações sobre a natureza do espaço-tempo.

O momento final da atividade envolveu a análise da pintura “A persistência da Memória”, do renomado pintor espanhol Salvador Dalí, considerada por muitos como sua verdadeira obra-prima. A pintura apresenta relógios derretidos que sugerem a ideia de distorção do tempo. Após a discussão da pintura, os conceitos de dilatação temporal e contração do espaço foram introduzidos, marcando o encerramento da aula.

Aula sem o uso do recurso

Para efeito de comparação, utilizamos uma estratégia diferente na turma de referência, na qual a aula foi ministrada sem o uso do recurso das obras de arte. Nesses momentos, além da apresentação de slides, fizemos o uso do recurso da música e do trecho do documentário para atuar, de maneira similar a da turma na qual as pinturas foram aplicadas, como ferramentas problematizadoras. Para concluir a atividade foram necessárias duas aulas de 50 minutos que tiveram a seguinte configuração:

Quadro 2 – Estrutura da atividade

Momento da aula	Conteúdos	Objetivos específicos
Observação da Música	Velocidade; Tempo.	Relacionar a natureza clássica dos conceitos de tempo e espaço através da música.
Exemplo na lousa.	Velocidade relativa.	Compreender a natureza da velocidade entre dois corpos.
Apresentação de slides.	As transformações de Galileu; Postulados da relatividade; Transformações de Lorentz; Dilatação Temporal; Contração do Espaço.	Entender as transformações entre as coordenadas de referenciais que estão em movimento relativo entre si.
Exibição do trecho de um documentário.	Simultaneidade.	Perceber que eventos que ocorrer ao mesmo tempo para uma pessoa podem não ser considerados simultâneos por outra pessoa em movimento relativo.

Fonte: O autor

5 ESCOLHA DAS PINTURAS

O processo de escolha das pinturas se insere na etapa dos princípios de design da Pesquisa Baseada em Design (PBD). Nesse momento da pesquisa, a ideia era selecionar pinturas que fossem facilmente identificáveis, evitando que fossem excessivamente abstratas e dificultassem o entendimento dos estudantes. Inicialmente, o foco estava apenas nas pinturas do movimento surrealista. No entanto, percebemos no movimento impressionista a oportunidade de trazer pinturas que apresentassem elementos de tempo e movimento, características presentes nas obras desse movimento artístico. Assim, uma das pinturas selecionadas pertence ao movimento impressionista, enquanto as outras duas fazem parte do movimento surrealista, um movimento contemporâneo aos eventos da teoria da relatividade, surgido no início do século XX.

A primeira pintura escolhida para discutir os conceitos de referencial foi a obra "Estação de trem de Saint-Lazare", datada de 1876 e criada pelo pintor francês Claude Monet, pertencente ao movimento impressionista.

Figura 4 – Estação de Trem de Saint-Lazare (1876)



Fonte: Wikiart

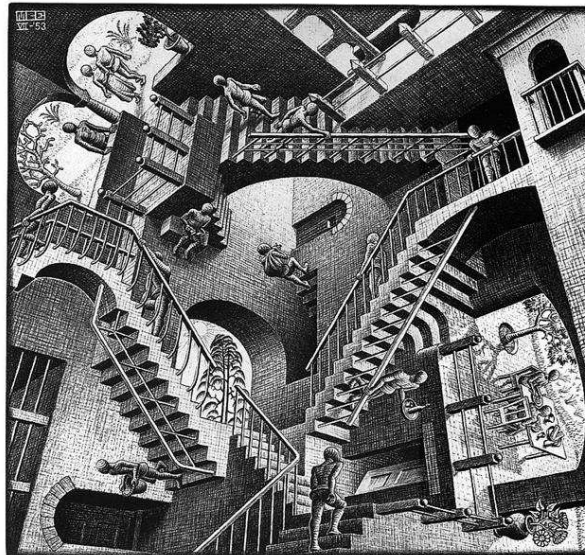
O movimento impressionista, que surgiu na França em meados do século XIX (Sales; Costa; Barbosa, 2021), e ficou caracterizado pela ênfase na percepção subjetiva e nas impressões momentâneas da luz e da cor. De acordo com (Proença, 2007) "Os pintores impressionistas procuraram, a partir da observação direta do efeito da luz solar sobre objetos, registrar em suas telas as constantes alterações que essa luz provoca nas cores da natureza".

As outras duas pinturas utilizadas fazem parte do movimento surrealista que surgiu em meados do século XX. Impulsionados pelos ideais da psicanálise freudiana, os surrealistas tentavam representar por meio de formas abstratas as outras realidades, situadas no plano do subconsciente e do inconsciente (Hellmann, 2012).

A obra Rede de relatividade (figura 5) foi escolhida para discutir sobre o primeiro postulado da TRR, o princípio da relatividade. Neste princípio, Einstein explica que as leis físicas são as mesmas em quaisquer referenciais inerciais (Serway Raymond A.; W. Jewett Junior, 2014). A simetria dos objetos presentes na figura pode nos remeter a essa ideia quando observamos os mesmos elementos presentes na figura, mesmo que de perspectivas diferentes.

Em relação à pintura "A persistência da Memória"(Figura 6) do espanhol Salvador Dalí, buscamos discutir os conceitos de dilatação temporal e contração do espaço. Observando os elementos presentes na figura, como os relógios distorcidos e com aspectos de derretimento, o que nos remete a ideia de dilatação temporal presente na TRR.

Figura 5 – Rede de relatividade (1953)



Fonte: Wikiart

Figura 6 – A persistência da Memória (1931)



Fonte: Wikiart

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo, expomos os resultados das atividades realizadas em sala de aula, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos. faremos uma análise dos resultados de cada turma, buscando observar elementos que indiquem diferenças no entendimento e compreensão dos conceitos relacionados à relatividade restrita por parte dos alunos que receberam os estímulos das pinturas.

Análise das aulas

Antes de iniciar a primeira aula com a turma A, uma aluna expressou seu descontentamento com a matéria de física ao comentar "vixee a aula é de física é? não aguento mais" esse possível descontentamento pode ser compreendido pelo término de uma prova de recuperação da mesma disciplina minutos antes. Ao final da aula, essa mesma estudante se desculpou do comentário inicial e relatou que gostou da aula, afirmando: "até que gostei{da aula}, porque foi diferente"

Na ocasião em que a linha do tempo estava sendo discutida, um estudante comentou com seu colega: "oxe, e a aula 'nera' de física?". O professor que estava no canto da sala ouviu esse comentário e interveio explicando sobre o porquê da discussão inicial estar relacionada com a linha do tempo. Após a fala do professor, os alunos sinalizaram que entenderam e a aula então foi continuada.

Com o decorrer da aula, os estudantes voltaram suas atenções às informações dispostas na linha do tempo, e lembraram que já tinham feito trabalhos sobre alguns dos movimentos artísticos apresentados na disciplina de português.

No momento em que a figura 4 estava sendo analisada, os alunos foram questionados sobre como saber se o trem da direita estava em movimento, os discentes responderam: "Pela impressão do movimento da fumaça"; "dá para perceber, pois a fumaça está indo para trás, o que dá a ideia de movimento". Diante dessas afirmações, percebemos que os estudantes conseguiram observar as nuances presentes na pintura para determinar a possível existência ou não do movimento da locomotiva.

Já na turma B quando questionados sobre o que eles entendiam por referencial, um estudante respondeu: "um referencial é um sistema usado para comparar as coisas" essa afirmação indica um entendimento parcial da definição de referencial. Ademais, em boa parte da aula, os estudantes permaneceram em silêncio, embora estivessem concentrados anotando em seus cadernos tópicos da aula, por mais que não fossem solicitados.

A turma C apresentou certa desatenção ao conteúdo da aula como exemplo, alguns alunos estavam dormindo em suas carteiras e outros com conversas paralelas. Porém, uma das estudantes estava muito interessada na aula e ao final pediu para que os slides fossem

disponibilizados e também solicitou que novos exercícios numéricos fossem realizados. O fato da discente requisitar mais exercícios pode indicar uma dificuldade nesse tipo de abordagem.

Em resumo, em termos de comparação, a turma A se mostrou mais interativa e participava durante as aulas do que as outras duas turmas. Para considerar os indícios de aproveitamento, teremos que analisar o questionário realizado ao fim das aulas.

Análise do questionário

Em termos de comparação, a turma A se mostrou mais interativa e participativa durante as aulas do que as outras duas turmas. Para considerar os indícios de aproveitamento, teremos que analisar o questionário realizado ao fim das aulas. As respostas dos alunos foram avaliadas considerando a sua compatibilidade com as informações e conceitos discutidos em sala de aula, com explicações que vão desde as respostas incompatíveis até as consideradas compatíveis.

A primeira pergunta¹ tratava de referencial inercial (20 estudantes (29%) apresentaram respostas que se aproximavam ao que entendemos como compatível).

Figura 7 – Resposta de estudante da turma A referente à primeira pergunta

1. Escreva com suas palavras o que seria um referencial inercial:

É um sistema de referência, que está em repouso, e só vai sair de repouso se ele sofrer uma ação de uma força.

Fonte: O autor.

No tocante, a figura 7 apresenta uma solução mais próxima do que se é considerado compatível. Ao formular sua resposta, o discente apresenta uma ligeira compreensão de parte do conceito ao responder que "É um sistema de referência que está em repouso", porém na sequência da resposta ele apresenta certa confusão quando afirma "ele só vai sair de repouso se ele sofrer uma ação de uma força" nos dando indícios de uma associação a um objeto qualquer.

Figura 8 – Resposta de estudante da turma B referente à primeira pergunta

1. Escreva com suas palavras o que seria um referencial inercial:

Seria um ponto ou objeto de referência que estaria parado, em repouso.

Fonte: O autor.

¹ Houve um erro de digitação no pronome interrogativo "o que" na formulação da pergunta, mas que não interferiu na interpretação da mesma.

Figura 9 – Resposta de estudante da turma C referente à primeira pergunta

1. Escreva com suas palavras o que seria um referencial inercial:

é um sistema de coordenadas que se move a uma velocidade constante

Fonte: O autor.

Observando a figura 8 notamos que o estudante da turma B comete o mesmo equívoco do discente da turma A, porém, essa resposta é próxima do que é considerado incompatível porque o raciocínio do aluno não trouxe elementos suficientes em sua formulação (como o aluno da turma A) que a torne compatível. Por sua vez, o discente da turma C apresenta uma conclusão considerada parcialmente compatível, pois afirma que "é um sistema de coordenadas que se move a uma velocidade constante" sendo esta uma das características de um referencial inercial, embora podemos definir o referencial inercial não apenas como um sistema de referência que está em velocidade constante (Movimento Retilíneo Uniforme), mas também como um sistema que está em repouso em relação a outro.

Analisando os dados da primeira pergunta, percebemos que o número de respostas compatíveis dos estudantes da turma A foi um pouco mais elevado: turma A: 10(50%), turma B:4 (20%) e turma C:6 (30%).

A segunda questão tratou de como a relatividade restrita altera a compreensão de conceitos fundamentais como tempo e espaço. Percebemos uma equivalência entre as turmas no número de respostas compatíveis (17 no total) com 5 (30%) Para a turma A, 6 (35%) para a turma B e os mesmos 6 (35%) para a turma C.

Figura 10 – Resposta de discente da turma A referente à segunda pergunta

2. Como a relatividade restrita altera nossa compreensão de conceitos fundamentais como tempo e espaço?

"ela aplica uma espécie de relatividade à coisa, por exemplo na obra de Salvador Dalí, que representa os relógios se esvaindo, mostrando um pouco dessa ideia."

Fonte: O autor.

Alguns estudantes da turma A conseguiram fazer uma ligação entre o conteúdo e as obras de arte, como podemos notar na figura 10. Quando o discente escreve "na obra de Salvador Dalí, que representa os relógios se esvaindo, mostrando um pouco dessa ideia." o termo "esvaindo" pode ter sido utilizado para indicar a mudança na concepção sobre o conceito de tempo e espaço trazidos pela TRR. Como não tiveram acesso ao recurso das pinturas, os alunos das turmas de referência apresentam padrões de resposta mais teóricos, embora algumas conclusões

sejam consideradas compatíveis como, por exemplo, na figura 11 e outras apresentam respostas simplórias como é caso da explicação do discente da turma C (Figura 12). Cabe destacar que a turma B possui um caráter comportamental diferente das turmas A e C, demonstra maior atenção às aulas.

Figura 11 – Resposta de aluno da turma B referente à segunda pergunta

2. Como a relatividade restrita altera nossa compreensão de conceitos fundamentais como tempo e espaço?

atuaris de estudos, é capaz notar que o tempo e espaço são moldados adaptando-se um ao outro, um conceito diferente para nós visto que tínhamos tempo e espaço como coisas distintas e absolutas.

Fonte: O autor.

Um destaque para a fala do estudante da turma B que demonstra uma compreensão fundamental da teoria da relatividade restrita. O aluno menciona que “o tempo e espaço são moldados adaptando-se um ao outro”, reconhecendo a interdependência entre esses dois conceitos na teoria de Einstein. O discente também menciona a visão clássica newtoniana do tempo e espaço como independentes e absolutos. Antes de Einstein, acreditava-se que o espaço era um palco fixo onde os eventos ocorriam e o tempo fluía de maneira constante e universal para todos os observadores.

Figura 12 – Resposta de discente da turma C referente à segunda pergunta

2. Como a relatividade restrita altera nossa compreensão de conceitos fundamentais como tempo e espaço?

Que são relativos, podem variar, não são iguais para todos.

Fonte: O autor.

Dando continuidade, a questão 3 buscava saber o entendimento dos estudantes com relação ao conceito de dilatação do tempo, e de que maneira esse fenômeno se torna evidente. Percebemos que o número de respostas em branco das turmas A e C foi relativamente alto quando comparado à turma B. Mas o desempenho das turmas nas respostas consideradas compatíveis foi muito próximo, com 7 (35%) respostas compatíveis da turma A comparadas com 8(40%) da turma B e 5(25%) da turma C.

A figura 13 apresenta uma resposta da turma A, apontando uma confusão do aluno ao dizer que um corpo "se move na velocidade da luz", no entanto, sabemos que isso não é possível porque à medida que o objeto se move com velocidade próximas à da luz ele vai adquirindo cada vez mais massa e isso interferiria na sua capacidade de deslocamento.

Figura 13 – Resposta de aluno da turma A referente à terceira pergunta

3. O que é a dilatação do tempo e em que situações ela se torna evidente?

É a mudança do tempo e espaço em detrimento da velocidade.
Vemos isso em exemplos que um corpo se move na velocidade da luz e o espaço "modifica-se".

Fonte: O autor.

Ao adentrarmos na quarta e última questão, questionamos aos estudantes sobre quais são os postulados da relatividade restrita. Ao observarmos os dados somos confrontados com um cenário intrigante: apenas 7 respostas consideradas compatíveis com os postulados da relatividade foram obtidas nas 3 turmas, divididas entre a turma A (4, com 57%), como vemos um exemplo na figura 14, e a turma B (3, com 43%). Infelizmente, nenhum estudante da turma C conseguiu formular uma resposta satisfatória. O que chama a atenção é a quantidade significativa de respostas em branco: 32 no total, distribuídas da seguinte forma: 7 (22%) na turma A, 9 (28%) na turma B e 16 (50%) na turma C. Os dados revelam que a compreensão dos postulados da relatividade restrita entre os estudantes das três turmas é insatisfatória, evidenciada por uma porcentagem substancial de respostas em branco, particularmente pronunciada na Turma C. Este cenário sugere que o tópico não foi adequadamente assimilado pelos alunos, ou que houve dificuldades significativas na formulação das respostas.

Figura 14 – Resposta de aluno da turma A referente à quarta pergunta

4. Quais são os postulados fundamentais da relatividade restrita?

Velocidade da luz constante e princípio da relatividade

Fonte: O autor.

Em relação ao aproveitamento, a turma A e B apresentaram maiores índices de respostas consideradas compatíveis. A partir disso, entendemos que houve um aproveitamento positivo da turma A em comparação à turma C, como retratado na tabela, isso pode indicar que o contato com as obras de arte auxiliou no processo de entendimento dos conteúdos. Foi observado que a turma B teve um rendimento considerável, o qual podemos associar ao histórico mencionados pelos professores sobre a turma. Mesmo com esses trejeitos, a turma B obteve um menor índice em comparação com a turma A, indicando mais uma vez, o possível impacto das pinturas.

Com todas as respostas das turmas, as quais foram consideradas como compatíveis, elaboramos a seguinte tabela:

Diante de todas as respostas das turmas, a turma A e B apresentaram maiores índices de respostas consideradas compatíveis. A partir disso, entendemos que houve um aproveitamento

Tabela 1 – Respostas
compatí-
veis.

Turma	Respostas
Turma A	26
Turma B	21
Turma C	17

Fonte – O autor

positivo da turma A em comparação à turma C, como retratado na tabela, isso pode indicar que o contato com as obras de arte auxiliou no processo de entendimento dos conteúdos. Foi observado que a turma B teve um rendimento considerável, o qual podemos associar ao histórico mencionados pelos professores sobre a turma. Mesmo com esses trejeitos, a turma B obteve um menor índice em comparação com a turma A. (isso acontece quando se faz esse levantamento geral, contudo, em algumas especificidades, a turma B sobressai a turma A, como vimos na análise das segunda e terceira questões).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho, foi explorada a integração de pinturas como recursos didáticos para facilitar a compreensão dos conceitos de Relatividade Restrita pelos alunos do Ensino Médio. A análise das respostas dos estudantes da turma A e da observação de seu desempenho nas atividades propostas, revelou indícios do impacto positivo que a utilização da arte pode ter no processo de ensino-aprendizagem.

A questão problema que norteou esta pesquisa - "Qual a contribuição do uso de pinturas artísticas como recurso didático no estudo de conceitos de Relatividade Restrita na Educação Básica? - foi respondida de forma satisfatória, com indícios de que a abordagem interdisciplinar, que integra a arte com a ciência, pode enriquecer o aprendizado dos alunos, tornando os conceitos físicos mais acessíveis e significativos.

A relação estabelecida entre as pinturas e os conceitos de Relatividade Restrita permitiu aos estudantes uma compreensão mais profunda e contextualizada dos temas abordados, estimulando a criatividade e a reflexão sobre as interações entre arte e ciência. Através dessa abordagem inovadora, os alunos puderam visualizar de forma concreta os princípios físicos, tornando o aprendizado mais envolvente e memorável.

Segundo o que já foi discutido sobre a Pesquisa Baseada em Design, o próximo passo é o processo de re-design. Uma das possíveis alterações para intervenções futuras seria o acréscimo de mais aulas pelo fato do conteúdo ser extenso e no processo de elaboração das aulas, alguns conteúdos acabaram não sendo abordados, como, por exemplo, os experimentos e tentativas de se determinar a velocidade da luz.

O questionário avaliativo pode ser melhorando especialmente na questão 1 onde foi observado um erro de digitação. Além disso, pode ser feita uma revisão das perguntas visando uma melhor compreensão dos alunos. Com esse mesmo intuito, outras pinturas ou movimentos artísticos podem ser explorados durante a atividade, bem como a utilização delas em outros conteúdos na intenção de analisar se o desempenho das obras de arte se manteria o mesmo.

O re-design da proposta será evidenciado em forma de artigo no futuro trazendo seus resultados.

REFERÊNCIAS

- ALEKSANDROWICZ, A. M. C.; MINAYO, M. C. d. S. Humanismo, liberdade e necessidade: compreensão dos hiatos cognitivos entre ciências da natureza e ética. **Ciência Saúde Coletiva**, ABRASCO - Associação Brasileira de Saúde Coletiva, v. 10, n. 3, p. 513–526, Jul 2005. ISSN 1413-8123. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-81232005000300002>>. Citado na página 18.
- GOMBRICH, E. **A História da ARte**. [S.l.]: LTC, 2000. Citado na página 17.
- HELLMANN, R. M. A trajetória da arte surrealista. **Revista Nupem**, v. 4, n. 6, p. 119–131, 2012. Citado na página 29.
- KICKHÖFEL, E. H. P. A ciência visual de leonardo da vinci: notas para uma interpretação de seus estudos anatômicos. **Scientiae Studia**, Universidade de São Paulo, Departamento de Filosofia, v. 9, n. 2, p. 319–335, 2011. ISSN 1678-3166. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1678-31662011000200005>>. Citado na página 18.
- KNEUBIL, F. B.; PIETROCOLA, M. A pesquisa baseada em design: Visão geral e contribuições para o ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 2, p. 01–16, ago. 2017. Disponível em: <<https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/310>>. Citado na página 25.
- MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do professor de física**, v. 1, n. 1, p. 1–13, 2017. Citado na página 12.
- MOZENA, E. R.; OSTERMANN, F. Uma revisão bibliográfica sobre a interdisciplinaridade no ensino das ciências da natureza. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, v. 16, n. 2, p. 185–206, May 2014. ISSN 1983-2117. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1983-21172014160210>>. Citado na página 12.
- PROENÇA, G. **História da arte**. [S.l.]: Ática, 2007. v. 1. Citado nas páginas 17 e 29.
- SALES, F. H. S.; COSTA, E. d. F. L. B.; BARBOSA, R. d. O. Tempo e impressionismo: Análise temporal das relações entre as teorias de newton e einstein nas obras impressionistas / time and impressionism: temporal analysis of relationships between the theories of newton and einstein in the impressionist works. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 30653–30673, Mar. 2021. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/27043>>. Citado na página 29.
- SERWAY RAYMOND A.; W. JEWETT JUNIOR, J. **Princípios de Física - Mecânica Clássica e Relatividade**. [S.l.]: Cengage Learning, 2014. ISBN 8522116369. Citado nas páginas 20 e 30.
- ZANETIC, J. **Física também é cultura**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 1990. Citado na página 12.