



INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PIRANHAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM FÍSICA

MOABIO ELIZANDRO RODRIGUES BARRETO FILHO

LETRAMENTO CIENTÍFICO E FÍSICA MODERNA: A RELATIVIDADE COMO UMA
PORTA DE ENTRADA PARA UM PENSAMENTO CRÍTICO DA REALIDADE

PIRANHAS, AL

2023

MOABIO ELIZANDRO RODRIGUES BARRETO FILHO

LETRAMENTO CIENTÍFICO E FÍSICA MODERNA: A RELATIVIDADE COMO UMA
PORTA DE ENTRADA PARA UM PENSAMENTO CRÍTICO DA REALIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação Licenciatura em Física
do Instituto Federal de Alagoas, *campus*
Piranhas, como requisito para a obtenção do
grau de licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Batista do
Carmo

Co-Orientador: Prof. Dr. Danilo Olímpio
Gomes

PIRANHAS, AL

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Piranhas
Biblioteca Tabela Cacilda Damasceno Freitas

B273l Barreto Filho, Moabio Elizandro Rodrigues.

Letramento científico e física moderna: A relatividade como uma porta de entrada para um pensamento crítico da realidade. / Moabio Elizandro Rodrigues Barreto Filho. – 2023.

Trabalho de Conclusão do curso (Licenciatura em física) - Instituto Federal de Alagoas, *Campus Piranhas*, Piranhas, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Ricardo Batista do Carmo

1. Física moderna. 2. Relatividade. 3. Letramento científico. I. Título.

CDD:530.7

Fabio Fernandes Silva
Bibliotecário – CRB- 4/2302

MOABIO ELIZANDRO RODRIGUES BARRETO FILHO

LETRAMENTO CIENTÍFICO E FÍSICA MODERNA: A RELATIVIDADE COMO UMA
PORTA DE ENTRADA PARA UM PENSAMENTO CRÍTICO DA REALIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação Licenciatura em Física
do Instituto Federal de Alagoas, *campus*
Piranhas, como requisito para a obtenção do
grau de licenciado em Física.

Aprovada em: 14/07/2023

Conceito Obtido: 10

BANCA EXAMINADORA

Ricardo Batista do Carmo

Prof. Dr. Ricardo Batista do Carmo (Orientador)

Instituto Federal de Alagoas – Ifal

Felipe Alexandre Medeiros de Freitas

Prof. Me. Felipe Alexandre Medeiros de Freitas

Instituto Federal de Alagoas – Ifal

Jailson Costa da Silva

Prof. Dr. Jailson Costa da Silva

Instituto Federal de Alagoas – Ifal

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Dr. Ricardo Batista do Carmo, por toda a sua ajuda e contribuição neste trabalho de conclusão de curso (TCC), sua paciência e incentivo foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Também agradeço ao meu co-orientador, Professor Dr. Danilo Olímpio Gomes, por seus conselhos, ideias e sugestões que agregaram em muito a esta pesquisa.

Quero agradecer, também, a Rosania Rodrigues da Silva por toda a sua ajuda nos anos que cursei essa licenciatura em física; sem ela, talvez, esse TCC nem existisse, ou mesmo seria bem diferente do que é. Por último, mas não menos importante, agradeço a todos e todas que contribuíram direta ou indiretamente para que essa pesquisa fosse concretizada.

“[...] Lembre-se de olhar para as estrelas, não para os próprios pés. Tente compreender o que vê e questione [o] que faz o universo existir. Seja curioso. E por mais que a vida pareça difícil, sempre há algo que você pode e consegue fazer. Nunca desista. Deixe sua imaginação correr solta. Molde o futuro.”

Stephen Hawking (2018)

RESUMO

Essa pesquisa tratou sobre os temas do letramento científico e do ensino de física moderna no ensino médio, com foco nas teorias da relatividade. A metodologia foi essencialmente qualitativa e a pesquisa constituiu-se como um estudo de caso. A investigação buscou analisar os conhecimentos prévios dos alunos; realizar uma intervenção pedagógica sobre o campo da física moderna, tendo o enfoque na relatividade; além de analisar o impacto causado pela intervenção no arcabouço intelectual dos alunos alvos da pesquisa. Dessa forma, o estudo empenhou-se em propiciar, ao menos de forma modesta e sucinta, as grandiosas perspectivas do letramento científico através da área supracitada. Foi possível chegar a conclusões muito importantes e considera-se que os objetivos da pesquisa foram alcançados. Apontamentos deveras significativos foram evidenciados, muitos dos quais já eram esperados, devido aos objetivos estipulados. Todavia, observou-se que ideias e pontos de vista apresentaram-se de forma notável, em relação aos quais não se tinha uma expectativa prévia, mas que se mostraram bastante relevantes. Espera-se que discussões, como a que fora tratada aqui, sejam continuamente implementadas, com um intuito de se aproximar de um cenário educacional cada vez mais próspero e triunfante.

Palavras-chave: física moderna; relatividade; letramento científico.

ABSTRACT

In our research, we have undertaken an investigation into the domains of scientific literacy and the teaching of modern physics within the context of secondary education, with a particular emphasis on the theories of relativity. In terms of methodology, this research is essentially qualitative and constitutes a study case. The study sought to scrutinize the prior knowledge of students, propose and implement a pedagogical intervention on the realm of modern physics, specifically focusing on relativity, and evaluate the consequential impact of this intervention on the cognitive framework of the targeted student cohort. This work aims to provide, albeit in a modest and concise manner, the expansive vistas of scientific literacy through the aforementioned area. The research has yielded momentous findings, thereby attaining the stated research objectives. Significantly noteworthy insights have been elucidated, many of which were anticipated in light of the predetermined aims. However, it is notable that certain ideas and perspectives have manifested themselves prominently, diverging from the anticipated preconceptions, yet proving to be highly propitious. Finally, we aim that discussions, such as the one addressed here, can be continuously implemented with the aim of approaching an increasingly prosperous and triumphant educational scenario.

Keywords: modern physics; relativity; scientific literacy.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Analogia do espaço-tempo de acordo com a teoria da relatividade geral em relação a uma superfície bidimensional.....	22
FIGURA 2 - Analogia do espaço-tempo de acordo com a teoria da relatividade geral para uma superfície tridimensional.....	22
FIGURA 3 - A primeira foto de um buraco negro.....	24
FIGURA 4 - Experimento construído para a intervenção pedagógica.....	34
FIGURA 5 - Demonstração do experimento realizado na intervenção pedagógica.....	34

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
GPS	Global Positioning System
LIGO	Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory
Caltech	California Institute of Technology
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PCN+	Parâmetros Curriculares Nacional +
TR	Teorias da Relatividade
FC	Física Clássica
FMC	Física Moderna e Contemporânea
RBEF	Revista Brasileira de Ensino de Física
CBEF	Caderno Brasileiro de Ensino de Física

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	LETRAMENTO CIENTÍFICO	16
4	FÍSICA MODERNA E RELATIVIDADE	19
5	FÍSICA MODERNA E RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO	26
6	METODOLOGIA	32
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
7.1	APRENDIZAGENS	37
7.2	BURACOS NEGROS	40
7.3	EXPERIMENTOS	42
7.4	MATEMÁTICA NO CONTEXTO DA SALA DE AULA DE FÍSICA	45
7.5	FÍSICA MODERNA NO COTIDIANO	47
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
	REFERÊNCIAS	53
	APÊNDICES	56
	APÊNDICE 1 - QUESTIONÁRIO PASSADO AOS DISCENTES	56
	APÊNDICE 2 - QUESTÕES QUE NORTEARAM AS ENTREVISTAS	59
	APÊNDICE 3 - SLIDES DA INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA REALIZADA	61

1 INTRODUÇÃO

O projeto de pesquisa que começou com a pergunta *o que é o tempo?*, foi seguindo caminhos cada vez mais distintos. Passando pela ideia de estudar o tempo na história do pensamento, chegou-se até este trabalho. Apesar das mudanças ao longo do caminho, os rumos escolhidos não foram desconexos com os que se tinham até então, apenas foram sendo reestruturados e implementados pelas novas ideias e descobertas que foram surgindo ao longo da construção desse trabalho de conclusão de curso.

A ciência, em especial a física moderna¹, moldou o nosso mundo de uma maneira surpreendente; hoje dispomos de diversas tecnologias e de um amplo capital epistemológico acerca da realidade. Como o renomado físico Stephen Hawking comenta em seu livro *O universo Numa Casca de Noz*, é fato que: “O mundo mudou mais nos últimos cem anos do que em qualquer século precedente. O motivo não foram novas doutrinas políticas ou econômicas, mas os vastos progressos na tecnologia tornados possíveis pelos avanços na ciência básica.” (HAWKING, 2016, p. 34). Assim, observa-se uma realidade moldada pela ciência e pelas novas e progressivas tecnologias.

Essas tecnologias, como celular, internet, computadores, *tablets*, são excessivamente utilizadas e compõem a realidade contemporânea. Mas em relação aos conhecimentos científicos que as constitui? As pessoas, em especial os estudantes, estão a par deles? Eles estão cientes da realidade que os cerca? As instituições de ensino estão preparando os seus alunos para que consigam analisar e entender as situações e informações que surgem no cotidiano? O ensino tem conseguido formar jovens e adultos que possam escapar, por exemplo, de armadilhas digitais como as *Fake News*? Qual a importância dos conhecimentos da física para os estudantes? Tais conhecimentos agregam valor intelectual aos estudantes? Como a educação, em particular a área relativa à física moderna, pode propiciar aos estudantes um entendimento crítico do excessivo montante de informações que estão à disposição todos os dias? Essas e outras perguntas nos moveram e nos inquietaram, e foram elas que deram forma a este trabalho.

No cenário que foi traçado linhas acima, um tema que tem grande relevância e importância é o do letramento científico. Foi dedicado um generoso espaço a esse tema; um

¹ Neste trabalho foi determinado que a expressão *física moderna* corresponde à física desenvolvida dos anos de 1900 até a atualidade, dado o caráter elementar da intervenção didática realizada nesta pesquisa, que também assumiu essa posição. Assim, os termos *física moderna* e *física moderna e contemporânea* foram tratados como sinônimos neste estudo.

capítulo desse trabalho. De forma bastante sucinta, o letramento científico diz respeito à educação científica, aos seus objetivos e as suas ideias (MAMEDE; ZIMMERMANN, 2005); dessa forma, esse tema é elementar nesta pesquisa, de modo a norteá-la em grande medida. Como será melhor detalhado em páginas vindouras, letramento científico e alfabetização científica podem ser encarados como sinônimos, contudo, eles possuem especificidades, de forma que o termo “letramento científico” é mais adequado aos propósitos deste estudo.

O conteúdo da física moderna é deveras amplo e constitui um enorme arcabouço de conhecimentos. Dessa forma, trataremos especialmente de um de seus temas, o da relatividade, a qual teve como grande expoente o físico alemão Albert Einstein. As teorias² que compõem esse tema propiciaram um enorme ganho epistemológico acerca do universo natural. A relatividade pode ser considerada como um dos grandes feitos intelectuais da primeira metade do século XX, e até os dias atuais segue como um dos fundamentos da física e da ciência. Em relação ao seu ensino, tem-se algumas propostas, mas ainda é um conteúdo pouco abordado no ensino médio, apesar de tal tema está frequentemente sendo abordado em filmes, séries, *podcasts* e nas mídias de forma geral. Além disso, o tema da relatividade é quase inexistente em provas como o exame nacional do ensino médio (ENEM), o que contribui ainda mais para a pouca abordagem desse conteúdo no ensino médio. Esta pesquisa pauta-se na educação como instrumento de análise crítica da realidade e das condições que cercam os educandos, estando muito além da aprovação em um exame ou prova, como salienta Freire (1987) quando critica a educação denominada bancária, na qual o aluno é apenas um receptáculo de informações, e defende a educação como prática de liberdade.

A pesquisa aqui tratada, voltou-se para a maneira que os estudantes veem a realidade e a compreendem, em especial, atentou-se à questão do letramento científico por parte de estudantes do ensino médio. Além de discutir a relevância da física moderna no ensino médio, tendo como foco os conteúdos de relatividade, foi construída uma proposta educacional, examinando brevemente os conhecimentos prévios de relatividade dos educandos, aplicada tal proposta, e foram verificados alguns dos seus resultados, realizando uma análise dos conhecimentos pré e pós intervenção didática e de algumas perspectivas emergentes. Vale dizer que, além do tópico de relatividade, foram abordadas nesta pesquisa questões acerca da ciência e seus avanços, além de ideias gerais sobre a natureza da física moderna; no mais, também foram realizadas conexões com a física e seu ensino de forma geral. Esse caráter

² Teoria da relatividade restrita e teoria da relatividade geral, ou simplesmente *relatividade*.

multitemático, mencionado nessas últimas linhas, poderá ser observado no texto e nos apêndices deste trabalho.

Para além de estar contribuindo com a discussão sobre a física moderna no ensino médio, espera-se promover um aflorar de reflexões e debates no âmago dos estudantes, contribuindo para a construção de cidadãos mais conscientes do mundo e instrumentos que os cerca.

A pesquisa realizou-se em uma turma de terceiro ano do ensino médio da rede federal de ensino; o público alvo já foi permeado por diversos conteúdos de física, ainda assim, a aplicação da proposta considerou defasagens no aprendizado dos estudantes. Apesar das dificuldades inerentes aos conteúdos de física moderna, particularmente os de relatividade, acredita-se que, feita uma adequada transposição didática, os discentes do ensino médio são completamente capazes de compreender diversos elementos da física moderna e da teoria da relatividade (geral e restrita), além de muitas de suas aplicações. A linguagem utilizada na intervenção, longe dos jargões e expressões das áreas supracitadas, estando também distante do rigor matemático, teve como intuito deixar os assuntos acessíveis e próximos da realidade dos alunos. Dessa forma, focalizou-se nas ideias gerais da relatividade e como elas se manifestam em algumas aplicações tecnológicas e em certos objetos celestes, tendo como pano de fundo uma caracterização da física moderna.

É interessante destacar que, como pode ser observado no capítulo 7 (Resultados e Discussões), determinadas ideias e temas mostraram-se muito relevantes no processo de pesquisa e não puderam ser ignorados. Dessa forma, para além de trabalhar com o tema da relatividade, outras perspectivas emergentes do estudo foram permeadas. Um exemplo notável está na questão da matemática no ensino de física, a qual se constitui como uma categoria de análise em nosso texto.

Além do regozijo de poder estar contribuindo para a formação de estudantes, essa pesquisa tem uma contribuição simbólica de valor inestimável para minha formação como docente e uma significação pessoal sem precedentes, dado que a minha introdução em um curso de física se deu devido ao vislumbre que tive a respeito dos temas da relatividade. Temas e conteúdos abordados neste texto, são possíveis destinos de cursos de pós-graduação a serem enveredados.

Sabendo da universalidade do debate instituído, não se tem a pretensão de encerrar o tema aqui discutido, mas contribuir para um maior diálogo sobre ele, onde sua exata conclusão revela-se incomensurável dado a realidade sempre inédita e irrestrita na qual a humanidade está inserida. Dado o que fora dito, e especificando em relação aos conteúdos de relatividade, apresentam-se outras questões que constituíram este trabalho: Conceitos e ideias relativas às teorias da relatividade são relevantes e importantes para estudantes do ensino médio? Tais ideias e conceitos contribuem para o letramento científico? Esses conceitos e ideias promovem o entendimento da realidade por parte dos estudantes? Qual é a importância do conteúdo supracitado dentro do contexto do ensino médio?

Dado todas as questões levantadas nas linhas posteriores, manifesta-se de forma veemente a questão fundamental da pesquisa aqui apresentada: Qual a importância dos conteúdos e conceitos da relatividades para estudantes do ensino médio na perspectiva do letramento científico?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Analisar a construção de conhecimentos acerca da física moderna - particularmente das teorias da relatividade (restrita e geral) - de estudantes do Curso Técnico Integrado em Agropecuária, IFAL, *campus* Piranhas, na perspectiva do letramento científico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar qual o nível de conhecimento dos alunos da pesquisa acerca da teoria da relatividade;
- Possibilitar a aquisição de conhecimentos sobre física moderna - particularmente os da relatividade - a estudantes, a partir de uma intervenção pedagógica;
- Compreender o nível de conhecimento do grupo de estudantes analisados em relação à física moderna - especialmente no que diz respeito à teoria da relatividade - pós-intervenção pedagógica.
- Caracterizar os impactos da intervenção pedagógica no arcabouço intelectual dos estudantes foco da pesquisa.

3 LETRAMENTO CIENTÍFICO

A ciência e a tecnologia moldaram nosso mundo e as relações existentes na sociedade de uma forma inexorável. Assim, no âmbito educacional global, cresceu, já há alguns anos, o número de pesquisas que abordam o tema do letramento ou da alfabetização científica. Tal tema, dentro do cenário nacional, advém de trabalhos brasileiros no campo da divulgação científica, que são posteriores a estudos internacionais que trabalhavam as noções de *culture scientifique*, no cenário francês, *public understanding of science*, na Inglaterra, e *scientific literacy*, em contexto estadunidense (CUNHA, 2017). Este último termo teve bastante influência nos estudos brasileiros, onde o vocábulo *literacy* por vezes foi traduzido por *alfabetização*. O termo *letramento* começou a aparecer dentro do quadro de pesquisa nacional na década de 1980, “em uma tentativa de entender o quadro complexo em relação às expectativas de leitura no país da época, com muitos brasileiros adultos não alfabetizados, além de muitos adultos analfabetos funcionais.” (BERTOLDI, 2020, p. 3). Assim, a alfabetização científica pode ser entendida como uma etapa do letramento, entretanto, não existe consenso entre os autores que tratam dos termos *letramento científico* e *alfabetização científica* no que diz respeito às suas definições, podendo eles terem significados bastante tangenciais. Ainda assim, os dois fazem referência à educação científica e suas múltiplas partições.

Mesmo com uma variedade semântica em relação aos termos supracitados, pode-se apontar diferenciações contundentes entre eles, em especial se os delimitamos a partir das significações das expressões *letramento* e *alfabetização* como alguns autores fazem. Alfabetização faz referência ao processo de aquisição e desenvolvimento da habilidade e de conhecimentos no campo da leitura e escrita de forma individual. O letramento, por sua vez, pode ser designado como a ação social da alfabetização, onde os instrumentos “leitura” e “escrita” ganham uma dimensão mais ampla, transformando o indivíduo em seus múltiplos aspectos: social, cultural, psíquico, entre outros, sendo o letramento o estado em que um certo indivíduo ou grupo social apropria-se em decorrência da sua alfabetização (SOARES, 2009). Assim, segundo Mamede e Zimmermann (2005, p.2):

[...] poderíamos pensar na alfabetização científica, como sendo referente à aprendizagem dos conteúdos e da linguagem científica. Por outro lado, o letramento científico, se refere ao uso do conhecimento científico e tecnológico no cotidiano, no interior de um contexto sócio-histórico específico.

Dadas as ideias acima, destaca-se o motivo da utilização do termo *letramento científico*, que melhor circunscreve os objetivos que foram estipulados na construção da pesquisa aqui apresentada. Ademais, compreende-se que, em algum nível, os estudantes do estudo possuem um certo nível de alfabetização científica, dado o percurso escolar que eles já trilharam e a divulgação de conteúdos pela mídia e meios informativos de conceitos e ideias que fazem parte do domínio da ciência.

O letramento científico pode ser observado em uma ampla gama de situações cotidianas. O ato de ler uma revista, ouvir um *podcast*, assistir a um vídeo na *internet*, ou fazer a leitura do rótulo de um produto, são ações que compõem um quadro de letramento científico; dessa maneira, salienta-se a presença do tema no dia a dia dos estudantes e nos muitos espaços sociais em que eles estão presentes. É importante frisar que esse tema pode ser abordado em diversas áreas do conhecimento com as mais diversas perspectivas, sendo uma pauta que pode ser permeada por várias linhas de pesquisa.

Apesar da amplitude do tema, a pesquisa atentou-se ao ensino de ciências, o qual “[...] em uma visão crítica, deve superar a memorização de termos e conceitos (enciclopedismo) que, muitas vezes, foram (ou são) apresentados e expostos de forma descontextualizada.” (BRANCO *et al*, 2018, p. 703). Em especial, este estudo direciona o olhar para o tema da relatividade no campo da física moderna.

Dado o que fora dito, busca-se contribuir com a ampliação da discussão sobre a educação científica e o ensino de ciências no Brasil, considerando que os jovens e estudantes brasileiros necessitam e devem se apropriar de conhecimentos que foram e são essenciais para a construção da nossa sociedade e para as formas com as quais lidamos com a realidade. O possível aperfeiçoamento da capacidade intelectual e do pensamento crítico que é viabilizado por conhecimentos científicos, tais como os da física moderna e da relatividade³, tem o potencial de capacitar as pessoas para que venham a escapar de armadilhas e perigos que assolam os nossos dias, tal como as *Fake News*.

Como alerta Machado; Silva; Fontella (2021), houve um aumento de movimentos negacionistas nos mais variados campos do saber nos últimos anos. Tal como o crescimento de grupos e indivíduos que defendem a ineficácia das vacinas em tempos de pandemia e pós-pandemia da Covid-19. Em relação ao campo da física, houve o crescimento, nos últimos

³ Ao longo do texto perceberá que sempre será mencionado física moderna e relatividade, mesmo a relatividade sendo parte da física moderna. Isto acontece em decorrência da pesquisa versar principalmente sobre o ensino das teorias da relatividade, buscando, assim, dar um destaque ao tema.

anos, de correntes que defendem ideias como as da terra plana e do geocentrismo; problemáticas que há muito já foram resolvidas pela ciência e suas ideias e teorias comprovadamente descartadas. Assim, “[...] é necessário voltar-se para os espaços formais e não formais de ensino, locais onde grande parte dessas falsas ideias científicas se proliferam, a fim de se pensar maneiras de transformá-los em locais de informação e de divulgação científica.” (MACHADO; SILVA; FONTELLA, 2021, p. 4).

Nesse contexto, o letramento científico eleva-se a um importante patamar, sendo um dos possíveis caminhos para a construção de uma sociedade mais crítica e reflexiva, onde possamos estar cada vez mais distantes de ideias equivocadas e irrealistas da conjuntura epistemológica construída pela sociedade ao longo de sua história. Os espaços informais e formais de educação, tal como já fora dito, podem contribuir em grande medida para que esse ideal de civilização esteja mais próximo dos nossos dias.

Alguns pontos sobre o letramento científico foram abordados até aqui, e queremos deixar claro a grande dimensão do tema e suas possíveis vertentes, além de alertarmos a sua necessária conjunção com outros tópicos igualmente importantes. A discussão sobre a temática deve ter prosseguimento, estando continuamente implementada.

4 FÍSICA MODERNA E RELATIVIDADE

A física moderna é a área das ciências físicas que estuda o comportamento de corpos muito pequenos, comparados aos elétrons; com velocidades muito grandes, em relação à velocidade da luz; e trata também da interação gravitacional que molda o nosso universo em larga escala. Essa área pode ser dividida em três, a saber: física quântica, relatividade restrita e relatividade geral. Esta última pode ser vista como uma generalização da anterior (EINSTEIN, 1999), de modo que podemos dividir a física moderna em apenas duas áreas: física quântica e relatividade geral. Esta pesquisa frisa o olhar especialmente na relatividade, a qual serviu de conteúdo básico para a intervenção realizada. É justamente ela que será abordada a partir de então, onde alguns de seus conceitos, aplicações e corpos significativos a tal teoria serão brevemente explicados. Começando, é claro, com uma breve descrição do início da física quântica, que marca o início da física moderna.

Podemos dizer que o início da física quântica, em consequência da física moderna, se deu no ano de 1900, quando Max Planck, renomado físico alemão, apresentou, em uma reunião da Sociedade Alemã de Física, seu artigo intitulado: Sobre a Teoria da Lei de Distribuição de Energia do Espectro Normal. Esse texto, que de início não teve tanta atenção, ocasionou uma revolução na física (EISBERG; RESNICK, 1979). Outros dois eventos extremamente significativos que marcaram o início da física moderna foram: a publicação de alguns artigos por Albert Einstein no ano de 1905, em que em um deles ele estabelece a teoria da relatividade restrita; e o outro foi a publicação, por ele, no ano de 1915, da teoria da relatividade geral. Esses marcos temporais foram de extrema importância para a física e para as ciências em geral. Todas essas teorias foram amplamente testadas e são consideradas nossa base para o entendimento atual do universo.

Após os eventos supracitados, descobertas e experiências foram sendo realizadas e desenvolvidas à luz de tais teorias, aprimorando-as e complementando-as, de modo que a nossa visão do universo foi sendo cada vez mais refinada e aprimorada, tendo como base ainda tais teorias. O século XX viu um aflorar de ideais revolucionárias e surpreendentes, as quais outrora nunca foram imaginadas. O conteúdo epistemológico por nós construído acerca do cosmo⁴ foi vasto e formidável, e como nos diz Stephen Hawking em seu livro póstumo *Breve Respostas Para Grandes Questões* (2018, p. 234): “Não acredito em limites, seja para o que podemos fazer em nossa vida pessoal, seja para o que a vida e a inteligência podem

⁴ Aqui a palavra cosmo é entendida como sinônimo de universo.

conquistar no universo.” Além disso, ele afirma de modo categórico em tal obra:

[...] nunca vamos saber de fato de onde virá a próxima grande descoberta científica, tampouco quem a fará. Proporcionar acesso à emoção e ao espanto da revelação científica, criando maneiras inovadoras e acessíveis de atingir o maior público jovem possível, aumentará em muito nossas chances de encontrar e inspirar um novo Einstein. Esteja ele ou ela onde estiver (HAWKING, 2018, p. 236)

Nossa pesquisa converge, em grande medida, com as aspirações que Stephen Hawking deixa explícito em seus escritos apresentados acima.

A relatividade restrita (ou especial) trata especialmente de corpos que se movem a velocidades próximas à da luz. Ela se baseia em dois postulados fundamentais, os quais já foram e são intensamente testados experimentalmente. Usando as definições do livro *Fundamentos de física: óptica e física moderna* (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 147), temos:

1. Postulado da Relatividade⁵ As leis da físicas são as mesmas para todos os observadores situados em referenciais⁶ inerciais⁷. Não existe um referencial absoluto.

2. Postulado da Velocidade da Luz⁸ A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor c^9 em todas as direções e em todos os referenciais inerciais.

Esses dois postulados, aparentemente simples e triviais, têm consequências bastante desconcertantes; o próprio Stephen Hawking disse em seu livro *O universo numa casca de noz*, publicado primeiramente em inglês no ano de 2001, que: “Até hoje recebo de duas a três cartas por semana me dizendo que Einstein estava errado.” (HAWKING, 2016, p. 19). Apenas com essa afirmação já é possível deduzir a mudança paradigmática que Einstein impusera à física.

A primeira mudança que se pode deduzir dos postulados é a não existência de um tempo absoluto, algo que até então era considerado inquestionável. Em outras palavras, observadores em diferentes referenciais inerciais podem medir intervalos de tempo diferentes para a ocorrência de dois ou mais eventos, a depender da velocidade relativa entre os

⁵ Outra nomenclatura equivalente para esse postulado é: Princípio da Relatividade.

⁶ Referencial pode ser entendido como um corpo ou objeto que a partir dele possa-se realizar medidas físicas. Matematicamente um referencial é entendido como um sistema de coordenadas, com quantas possa-se desejar.

⁷ Referenciais inerciais são aqueles os quais as leis do movimento de Isaac Newton são válidas.

⁸ Uma outra nomenclatura equivalente para esse postulado é: Princípio da Constância da Velocidade da Luz.

⁹ c vale aproximadamente 300 000 000 m/s, sendo um valor mais próximo de c : 299 792 458 m/s (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

referencias. Perceba que o tempo pode passar de maneira distinta para duas pessoas, desde que os referenciais delas sejam diferentes (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

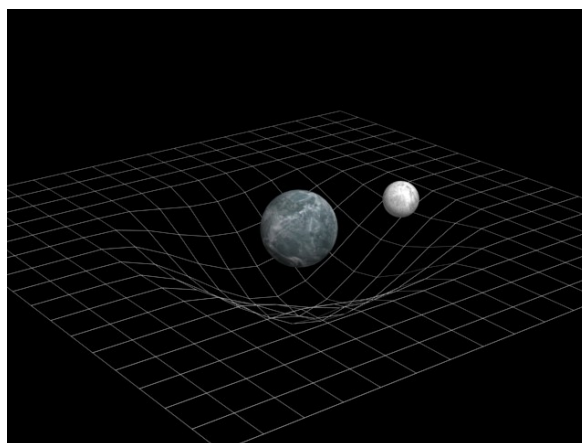
Outra mudança dedutível dos postulados é a de que, a depender dos referenciais dos observadores que se movem um em relação ao outro, as distâncias ou comprimentos (de uma régua, por exemplo) podem ser distintas, isto é, o espaço também deixa de ser absoluto. Para mais, não mais existem duas entidades físicas distintas, tempo e espaço, passa-se a admitir a existência de apenas um ente físico: o espaço-tempo. Isso indica que um influencia o outro, pois são parte de uma coisa só (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

A relatividade restrita não somente mudou as nossas noções sobre tempo e espaço. Entre tantas outras, uma se destaca, a de que energia e massa são grandezas equivalentes, isto é, uma pode ser convertida na outra. Matematicamente, esse conhecimento se traduz na conhecida equação: $E = mc^2$, onde E é a energia de uma partícula, m é a sua massa e c é a velocidade da luz no vácuo. Assim, houve uma mudança na concepção fenomenológica do que era entendido como massa e como energia. Um exemplo da aparição dessa nova concepção está presente nas usinas nucleares, bombas atômicas, ou até mesmo na energia proveniente do sol. Seja pela separação (fissão nuclear) ou união (fusão nuclear) entre partículas de matéria, núcleos atômicos para ser mais claro; assim, uma parte da matéria acaba sendo transformada em energia, podendo o inverso ocorrer.

A relatividade restrita trouxe diversos ganhos epistemológicos no entendimento do cosmo. Com a teoria da relatividade geral, esses ganhos foram além; ela modificou o entendimento que se tinha até então sobre a interação gravitacional, tendo sido ela definida pelo renomado físico inglês Isaac Newton como a força de interação entre duas partículas que possuem massa. A relatividade geral estabelece que a gravidade é definida como a deformação do espaço-tempo por um determinado corpo, onde o nível de deformação é determinado por sua massa. Uma analogia interessante no sentido do entendimento dessas noções é a do espaço-tempo como um lençol, e um corpo, o sol, por exemplo, como uma esfera que deforma tal lençol. Dessa maneira, outros corpos, os planetas, por exemplo, podem sentir essa curvatura e então “se aproximarem”, não seguindo em linhas retas e sim seguindo trajetórias curvas (HAWKING, 2016). Essa analogia é, a certo nível, grosseira, pois não representa o que de fato acontece na natureza. Ela reduz o nosso espaço-tempo quadridimensional a um universo com duas dimensões. De todo modo, esse experimento, que pode ser realizado com um relativo baixo custo, tem o potencial de facilitar a construção de

conhecimentos por parte dos alunos acerca da relatividade geral, da gravidade e do funcionamento do universo de uma forma geral. Abaixo, é apresentada uma imagem que diz respeito à analogia supracitada:

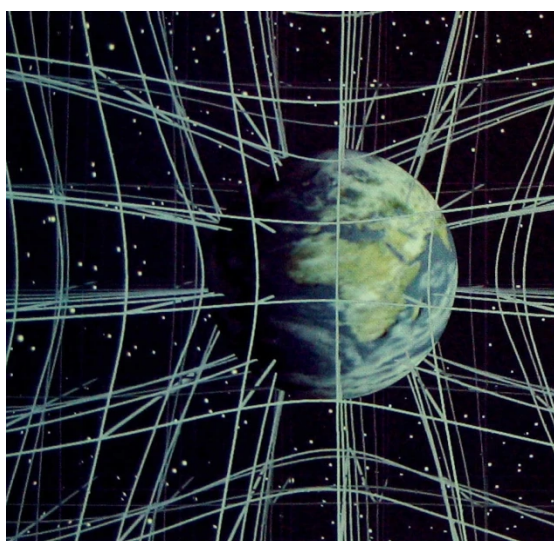
Figura 1 - Analogia do espaço-tempo de acordo com a teoria da relatividade geral em relação a uma superfície bidimensional



Fonte: ComCiência¹⁰

Acima, temos uma representação bidimensional de como a Terra deforma o espaço-tempo e a Lua segue tal curvatura. Se quisermos uma melhor representação, no caso, de como o espaço-tempo é deformado tridimensionalmente, uma melhor representação seria:

Figura 2 - Analogia do espaço-tempo de acordo com a teoria da relatividade geral para uma superfície tridimensional



Fonte: A Ciência Divulgada¹¹

¹⁰ Imagem retirada do site: <https://www.comciencia.br/relatividade-no-cotidiano/>.

¹¹ Imagem retirada do site:

<https://acienciadivulgada.wordpress.com/2017/05/28/entenda-a-gravidade-de-newton-e-einstein/>.

Acima, apesar de ser uma representação incompleta, já é uma imagem mais fidedigna da estrutura do espaço-tempo como conhecemos até então, entretanto, ainda falta a dimensão temporal; esta que é, de todas as outras, a mais abstrata e difícil de representar.

Se o espaço-tempo é como um “tecido”, nele se pode ter a formação de ondas que se propagam por tal “tecido”. Essas ondas previstas pela teoria da relatividade geral foi confirmada apenas 100 anos depois da exposição da teoria, no ano de 2015, pelo *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO)*, que em uma tradução livre significa: Observatório de ondas gravitacionais com interferometria a laser (B. P. ABBOTT *et al*, 2016). O LIGO é um projeto construído e arquitetado por engenheiros, cientistas e funcionários do Instituto de Tecnologia da Califórnia¹² (Caltech) e do Instituto de Tecnologia de Massachusetts¹³ (MIT), com a colaboração de diversas instituições de pesquisa distribuídas por todo o mundo (LIGO¹⁴). É impressionante o sucesso que a relatividade geral teve no decorrer das décadas, sendo um dos pilares do conhecimento que temos sobre o nosso universo.

A relatividade geral pode parecer bastante abstrata e fora das situações que cotidianamente vivenciamos, mas, por exemplo, podemos citar o caso do *Global Positioning System (GPS)*, que em uma tradução livre significa: sistema de posicionamento global. Esse sistema é constituído por uma série de satélites que estão em órbitas bem definidas ao redor do globo, os quais necessitam de correções das duas teorias da relatividade. No que diz respeito à teoria da relatividade restrita, a correção se deve à velocidade dos satélites em relação a terra; já em relação à teoria da relatividade geral, a correção se dá devido aos satélites estarem relativamente distantes da superfície terrestre e sofrerem com uma deformação espaço-temporal menor que os outros corpos em tal superfície (Young; Freedman, 2016). Em outras palavras, o GPS, algo que pode ser um instrumento do cotidiano para muitos, necessita profundamente das teorias da relatividade.

Para finalizar esse tópico, gostaria de trazer algumas noções sobre os objetos cosmológicos mais intrigantes que podemos encontrar pelo cosmo, os quais, aliás, foram responsáveis pelas ondas gravitacionais que foram citadas acima: os buracos negros. Stephen Hawking deixa explícito o que quero dizer:

Dizem que às vezes a realidade é mais estranha que a ficção. Em nenhum lugar isso

¹² Em inglês: California Institute of Technology (Caltech).

¹³ Em inglês: Massachusetts Institute of Technology (MIT).

¹⁴ Site onde se tirou as informações: <https://www.ligo.caltech.edu/page/about>.

é mais verdadeiro que no caso dos buracos negros. Os buracos negros são mais estranhos que qualquer coisa já sonhada por escritores de ficção científica, mas são fatos do mundo da ciência. (HAWKING, 2017, p. 15)

Um buraco negro, de uma forma um tanto quanto coloquial, pode ser imaginado como um corpo que foi comprimido de tal forma que se tornou um ponto com densidade infinita. Os buracos negros são os casos extremos da gravidade no universo; sua atração gravitacional é tamanha, que depois de um certo limite de aproximação, isto é, depois de passar pelo que se é chamado de horizonte de eventos, nem mesmo a luz, a entidade física com a maior velocidade possível, consegue escapar de sua atração gravitacional.

Por muito tempo os buracos negros foram tratados especialmente como uma questão teórica, sendo apenas comprovados indiretamente. Contudo, em 2019, foi anunciada a primeira foto de um buraco negro, que até então poderia parecer apenas especulação teórica, mas que mais um vez comprovou a teoria da relatividade geral e mostrou ser uma entidade física que indubitavelmente compõe a realidade. A foto é a seguinte:

Figura 3 - A primeira foto de um buraco negro



Fonte: Event Horizon Telescope¹⁵

Essa foto está em grande harmonia com o entendimento atual sobre os buracos negros, e isso é fabuloso. Algo advindo de uma teoria acaba por revelar-se um componente da realidade. Existem vários mistérios acerca dos buracos negros que ainda são incógnitas e fontes de curiosidades e pesquisas por diversas pessoas e cientistas. Com certeza ainda existem muitos conhecimentos empolgantes e maravilhosos a serem descobertos sobre esses objetos fantásticos do nosso cosmo.

Tudo o que foi dito neste capítulo foi tema da intervenção pedagógica que foi realizada

¹⁵ Imagem retirada do site:

<https://eventhorizontelescope.org/press-release-april-10-2019-astronomers-capture-first-image-black-hole>.

nesta pesquisa. Nessa seção buscou-se explicar o conteúdo abordado em tal atividade de uma maneira um pouco mais aprofundada, mas ainda assim sem muito rigor científico, a fim de deixar claro que os tópicos trabalhados são importantes e que compõem o quadro de entendimentos sobre a nossa realidade fenomenológica, os quais são imprescindíveis para a formação de cidadãos conscientes do mundo que os cerca e da realidade que é inexoravelmente promotora de reflexões críticas e construtivas sobre a estrutura do cosmo que habitamos.

5 FÍSICA MODERNA E RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO

Como já salientando, a ciência e a tecnologia moldaram e continuam a transformar o nosso mundo, e a física moderna tem papel crucial nesse trânsito histórico da humanidade. Desse modo, a discussão sobre o ensino de física moderna apresenta-se de modo categórico se quisermos preparar os estudantes para estarem bem situados dentro da realidade. Assim, tem-se que, com o passar dos anos, a

[...] preocupação com o nível de conhecimento sobre a ciência e tecnologia da população se intensificou no mundo todo e um fator determinante que contribuiu para esse acréscimo é a constante elevação do nível de imersão e dependência da sociedade na cultura científica e tecnológica. (ASSUNÇÃO; NASCIMENTO, 2019, p. 2)

Sobre a linha de pesquisa de física moderna na esfera do ensino de física, temos que:

Nos Estados Unidos e, provavelmente, em nível internacional, a preocupação com o ensino de FMC [física moderna e contemporânea] nas escolas e nos cursos universitários introdutórios começou, ou intensificou-se, com a "Conferência sobre o Ensino de Física Moderna", realizada no Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois, em abril de 1986, na qual cerca de 100 professores interagiram com aproximadamente 15 físicos. (OSTERMANN, 2000, p. 8)

Dessa forma, a pesquisa em ensino de física moderna teve sua concretização a partir de meados da década de 1980, questionando o ensino de física que tradicionalmente é apresentado nas escolas (OSTERMANN, 2000). Desde então, várias propostas e pesquisas foram sendo desenvolvidas e construídas no decorrer dos anos, em diversas perspectivas.

Apesar de já ser uma área estabelecida no ensino de física (SILVA; ARENGHI; LINO, 2013), a física moderna ainda é pouco pesquisada em comparação com a física clássica no que diz respeito ao ensino de física, tal como indica o estudo de Sampaio; Oliveira; Siqueira (2019), que constitui uma pesquisa bibliográfica acerca de trabalhos que tratam sobre a introdução de temas das teorias da relatividade no ensino básico e sua popularização para o público em geral; isso indica a necessidade de se trabalhar mais com pesquisas nessa área. Ademais, também é pouca a sua introdução em sala de aula, mesmo sendo um tema já discutido há bastante tempo (SALOMÃO; ARAUJO; MACKEDANZ, 2020). Isso é um apontamento da agravante situação do ensino de física e da necessidade de reformulações

nesta seção do ensino básico, dada a importância dos conteúdos de física moderna para a sociedade altamente tecnológica construída pela humanidade. As pessoas atualmente, em especial os mais jovens, “[...] serão mais dependentes da ciência e da tecnologia do que qualquer geração anterior. Eles precisam saber mais sobre ciência do que qualquer um antes deles, porque ela faz parte de suas vidas diárias de uma maneira sem precedentes”. (HAWKING, 2018, p. 229). Cada dia mais essa afirmação se confirma, dado o progresso em tecnologias nas áreas de inteligência artificial, computação quântica e no desenvolvimento de fontes de energia renováveis, só para citar alguns temas nessa perspectiva. Outros exemplos notáveis são: o assistente virtual denominado ChatGPT; o desenvolvimento dos estudos sobre fusão nuclear; e o desenvolvimento da computação quântica. Dessa forma, é notória a necessidade da aprendizagem de temas de física moderna por parte dos alunos, com destaque para aqueles que estão no ensino médio.

A seguir serão citados alguns estudos interessantes na perspectiva do ensino de física moderna no ensino médio, que versam sobre abordagens e metodologias nesse cenário educativo, de forma a poder proporcionar a pertinência de algumas ideias e direções metodológicas.

O artigo *Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura* (2019) apresenta uma análise de resultados de artigos que tratam sobre física moderna no ensino médio. A pesquisa foi realizada em três periódicos brasileiros da área de ensino, compondo em seu escopo artigos publicados entre os anos de 2008 e 2018. Ele apresenta algumas perspectivas interessantes, as quais são importantes serem salientadas.

No artigo supracitado os autores elencam os textos em 5 categorias, a saber: artigos sobre história e filosofia da ciência, propostas de intervenção didáticas, estudos de caso e revisão de literatura. Uma primeira ideia que é possível obter dessas categorias é que a maioria - mais da metade dos artigos selecionados - traz alguma proposta de intervenção didática. Isso indica que a maioria dos pesquisadores brasileiros dessa área de ensino estão mais engajados em propor algum recurso ao professor, do que justificar a importância de reestruturar o currículo para compor os temas da física moderna (MARQUES *et al*, 2019).

Outra ideia importante que o artigo citado acima apresenta é que, apesar do reconhecimento da importância da abordagem dos conteúdos de física moderna no ensino médio, “[...] ainda não é realidade nas escolas e uma hipótese válida é de que talvez os professores sentem ainda não ter subsídios para tanto.” (MARQUES *et al*, 2019, p. 4).

Possivelmente, esse é um dos motivos, se não o principal, para que os pesquisadores da área de ensino da física moderna estejam empenhados em propor propostas didáticas nessa perspectiva. Apesar da maior parte dos trabalhos desenvolvidos serem acerca de intervenções didáticas, a maioria não executam a proposta sugerida, dessa forma, “[...] o teste da aplicação prática da atividade sugerida, sempre que possível deveria ser realizado, para que se possa observar como se daria a implementação em um ambiente não idealizado onde situações não planejadas deverão ser mitigadas.” (MARQUES *et al*, 2019, p. 4). Uma outra perspectiva que é apresentada no texto é a preocupação dos pesquisadores dos artigos com a utilização de experimentos nas aulas de física, onde mais da metade dos artigos elencados nas propostas de intervenção didática tratam sobre alguma abordagem experimental. Isso mostra o reconhecimento da importância da atividade experimental no ensino de física por parte dos estudiosos da área; e claro, não poderia ser diferente, dado a natureza grandemente experimental das ciências físicas.

No texto *O Ensino de Física Moderna baseado no filme Interestelar: Abordagem didática para a aprendizagem significativa* (2019) vemos uma abordagem bastante interessante da física moderna para com os alunos do ensino médio, onde os autores do artigo usam o filme *Interestelar* como um recurso didático para a construção de conceitos acerca da física moderna. Esse texto é bem interessante, dentre outros aspectos, devido ao fato do filme *interestelar* ser uma produção citada na intervenção didática do nosso estudo e por apresentar muitos conceitos de física moderna. Acerca da utilização desse recurso, os autores dizem que:

[...] o uso de filmes no ensino se torna importante por ter como características os aspectos sensoriais, visuais, linguagem falada, musical e escrita. Linguagens que interagem superpostas, interligadas, somadas, não separadas. Resumindo, os alunos são contemplados por todos os sentidos e de todas as maneiras. (MOURA; VIANNA, 2019, p. 3)

Assim, observa-se que produções cinematográficas podem ser um recurso bem interessante no ensino de física moderna, algo que os alunos podem já estar familiarizados, transformando-se em uma ponte necessária dos conteúdos com o dia a dia dos educandos, pois esse é um recurso que está intimamente ligado às tecnologias já bem consolidadas em nossa sociedade. Na intervenção didática realizada nesta pesquisa, utilizou-se vídeos pequenos, denominados *gifs*; um recurso que, apesar de não serem produções cinematográficas, se encaixam em grande medida com muitas das perspectivas pedagógicas

que foram citadas para tais produções, e podem ser de grande valia na compreensão de diversos conceitos de física moderna, especialmente os da relatividade.

No artigo denominado *Atividade experimental para o ensino de física: efeito fotoelétrico* (2021), temos a apresentação de uma proposta didática para o ensino de física moderna, tendo como base epistemológica o famoso efeito fotoelétrico. Essa proposta utiliza-se da abordagem experimental como ferramenta de aprendizagem. O experimento é estruturado a partir do conteúdo de kits experimentais enviados para várias escolas públicas brasileiras, e a ideia básica que os autores propõem que se possa chegar, é na determinação da constante de Planck, sendo este um dos valores que mais personificam a física moderna, em especial a física que estuda a natureza nas escalas atômicas e subatômicas, isto é, a física quântica.

O experimento citado há pouco, apesar de seu valor poder ser considerado alto, possuiu um baixo custo para os alunos, pois foi um material já adquirido pela escola, assim, ele pôde contribuir muito no entendimento dos alunos a respeito de temas da física moderna. Mesmo os autores enfatizando a determinação da constante de Planck como ideia principal a ser alcançada com o experimento, é possível construir e discutir, através dos experimento realizado, muitos conceitos e ideias presentes no campo de estudo da física moderna, tais como quantização da energia, dualidade onda-partícula, ondas eletromagnéticas, frequência de uma onda eletromagnética, entre outros temas dessa área. Atividades experimentais são fundamentais para os estudos em física, em especial os da física moderna, aliás, observa-se que “Um dos problemas, encontrados pelos professores de Física, é a falta de material para elaboração de experimentos especialmente no ramo da Física Moderna.” (BATISTA *et al*, 2021, p. 1) Assim, tal como na proposta de intervenção didática deste trabalho ou na do artigo descrito até então, fez-se necessário uma abordagem experimental no ensino da física, o que pôde possibilitar uma maior compreensão por parte dos alunos acerca de uma parte da realidade fenomenológica estudada.

No estudo bibliográfico de Sampaio; Oliveira; Siqueira (2019) temos a análise de algumas publicações que versam sobre a área de ensino da física moderna, focalizando seu olhar naquelas que tratam das teorias da relatividade. A pesquisa coletou estudos no arcabouço teórico disponibilizado entre os anos de 2000 e 2018, e apresenta algumas ideias bastante importantes; discutiremos e destacaremos parte delas.

Uma ideia que é explícita no texto supracitado é em relação a quantidade de trabalhos

nacionais publicados nas áreas de ensino da física clássica e de física moderna, onde se constatou que esta é bastante diminuta em relação a aquela, e até mesmo o material educacional tradicionalmente disponibilizado pelas escolas pouco trata sobre os temas da física moderna.

Apesar da pouca atenção dada ao ensino de física moderna, foi percebido um crescimento nos trabalhos acadêmicos que abordam esse tópico, em especial, os autores do texto mencionado acima, destacam o crescimento em relação a trabalhos relacionados às teorias da relatividade. Com isso tem-se que:

Um grande número de trabalhos tem sido publicado nos últimos anos problematizando a inserção das TR [teorias da relatividade] no Ensino Básico. De um modo geral, os autores realçam as grandes limitações da FC [física clássica] na descrição do comportamento do universo e da realidade tecnológica de nosso tempo, e muitos deles, inquirindo professores e alunos, apontam para índices que beiram a totalidade nas taxas de aprovação da FMC [física moderna e contemporânea], de um modo geral. (SAMPAIO; OLIVEIRA; SIQUEIRA, 2019, p. 52)

Apesar do crescimento mencionado acima, em relação aos trabalhos referentes ao ensino das teorias da relatividade, Marques e Soltau (2022) destacam em sua pesquisa bibliográfica¹⁶ a pouca atenção dada ao tema da teoria da relatividade geral dentro do ensino médio. Isso deixa evidente a necessidade de mais trabalhos e propostas que tratem sobre o tema do ensino da teoria da relatividade geral no contexto do ensino médio.

Ainda dentro do estudo de Sampaio; Oliveira e Siqueira (2019), pode-se ressaltar a sua fala em relação à entrada de estudantes no ensino superior; onde destaca-se o ENEM, o qual tem determinado os conteúdos do ensino básico na área das ciências e muito pouco tem abordado os temas da física moderna. Dessa forma, “Visando aprovar seus alunos nos vestibulares, as escolas têm se tornado verdadeiros centros de preparação para provas [...]” (SAMPAIO; OLIVEIRA; SIQUEIRA, 2019, p. 48). Com isso, cabe a reflexão aos atores que compõem o quadro pedagógico nacional acerca da sociedade que estamos construindo. Que preparação as instituições de ensino devem ofertar aos estudantes, uma que os capacite a apenas resolver questões ou uma que os prepare, ao menos parcialmente, para as mais diversas situações que ocorrem nos seus singulares cotidianos?

¹⁶ Pesquisa realizada em dois periódicos nacionais, sendo eles: Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) e Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF).

Nos documentos oficiais o tema da física moderna aparece há bastante tempo, como mostram os estudos de: Pereira; Guerini e Sá-Silva (2019), Assunção e Nascimento (2019), e Moura e Vianna (2019). Atualmente os documentos oficiais de educação, como a BNCC e os Parâmetros Curriculares Nacional + (PCN+), abordam temas da física moderna. Em especial, a BNCC traz alguns temas de física moderna na área de ciências da natureza e suas tecnologias, mas sem um direcionamento específico no campo da física, propondo abordagens mais amplas e interligadas com outras disciplinas, o que pode acarretar na não abordagem de temas físicos importantes para a construção da intelectualidade dos estudantes. Os PCN+, em relação à disciplina de física, até menciona o termo física moderna, mas em coerência com o documento citado anteriormente, trata os conteúdos de uma forma mais generalizada, em que temas como o da relatividade e o da física quântica ficam suprimidos, podendo, dessa forma, serem pouco abordados, quiçá, nem mencionados pelos professores em suas aulas. Vale destacar a importância da interdisciplinaridade e da conexão dos muitos conteúdos da física com o cotidiano e com outras disciplinas, algo que é explicitamente proposto nos documentos citados, mas o que se deseja apontar é a forma e a maneira que essas ações podem se concretizar, sem que os estudantes acabem sendo prejudicados pela falta da abordagem de temas contundentemente relevantes do campo da física.

Em linhas gerais, esses documentos citados abordam fortemente questões relativas ao uso das tecnologias do mundo contemporâneo, mas cabe a necessidade de estratégias e reflexões acerca de como possibilitar aos discentes uma imersão crítica e consciente nesse panorama cada vez mais dinâmico e caótico que vivemos. Além disso, mais que refletir e normatizar parâmetros e leis que apresentam a problemática de uma vida cada vez mais tecnológica e frenética, necessita-se, antes de tudo, possibilitar as condições necessárias, sejam materiais ou sociais, para um desenvolvimento integral dos estudantes. O ensino médio tem passado por várias transformações e mudanças, como mostram os documentos que baseiam a educação nacional. Reflexões acerca dessas mudanças devem ser levadas em consideração, principalmente aquelas advindas dos educadores, os quais efetivamente estão no chão da escola, para que posteriores atualizações e renovações sejam implementadas, de forma a contribuir, de formas cada vez melhores e eficientes, rumo a um cenário educacional mais próspero e grandioso.

6 METODOLOGIA

Nesta pesquisa optamos por uma abordagem puramente qualitativa, a qual é:

[...] voltada para a exploração e para o entendimento do significado que indivíduos ou grupos atribuem a um problema social ou humano. O processo de pesquisa envolve a emergência de perguntas e procedimentos, a coleta de dados geralmente no ambiente do participante, a análise indutiva desses dados iniciada nas particularidades e levada para temas gerais e as interpretações do pesquisador acerca do significado dos dados. (CRESWELL; CRESWELL, 2021, p. 3-4)

Além disso, a pesquisa aqui apresentada, constitui-se como um estudo de caso, “[...] em que o pesquisador desenvolve uma análise profunda de um caso, geralmente um projeto, um evento, uma atividade, um processo ou um ou mais indivíduos.” (CRESWELL; CRESWELL, 2021, p. 11). O caso em questão versou um pouco sobre as mudanças conceituais, epistemológicas e intelectuais que os estudantes da pesquisa tiveram pós-intervenção. Além, também, de tratar a respeito de conhecimentos prévios de tais discentes.

O estudo teve como público alvo 18 alunos de uma turma do 3º ano do Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Piranhas. Primeiro, aplicou-se um questionário¹⁷ sobre tópicos de física moderna e relatividade, e sobre a relação deles com esses temas e com as ciências de forma geral¹⁸. Posteriormente, realizou-se uma intervenção pedagógica que se constituiu em uma aula de cerca de 100 minutos sobre a física moderna, tendo como foco principal o tema da teoria da relatividade (geral e restrita) e algumas de suas aplicações, características e objetos cosmológicos a ela relativa. Após a intervenção foram realizadas entrevistas semiestruturadas com grupos de 3 alunos, somando um total de 6 entrevistas. Foi utilizado, nesse estágio da pesquisa, esse tipo de coleta de dados porque:

[...] nas entrevistas não totalmente estruturadas, onde não há a imposição de uma ordem rígida de questões, o entrevistado discorre sobre o tema proposto com base nas informações que ele detém e que no fundo são a verdadeira razão da entrevista. Na medida em que houver um clima de estímulo e de aceitação mútua, as informações fluirão de maneira natural e autêntica. (LÜDKE; ANDRÉ, 2020, p. 39)

Nessa perspectiva, as entrevistas contaram com um roteiro prévio¹⁹, norteador, baseado no questionário e na intervenção supracitada. Dessa forma, foi possível explorar as mudanças

¹⁷ Apêndice 1.

¹⁸ Fora ou dentro do âmbito escolar.

¹⁹ Apêndice 2.

ocorridas após a intervenção e outras importantes nuances no sentido do letramento científico e da promoção de conhecimentos de física moderna para os estudantes, de forma a analisar brevemente os saberes que eles possuíam anteriormente à intervenção e posteriormente a ela. Além do mais, buscou-se saber um pouco sobre o impacto desse acontecimento (intervenção) no arcabouço intelectual dos discentes.

A turma foi escolhida principalmente pelo nível escolar no qual se encontrava e pelas próprias oportunidades que ela possibilitou à realização do estudo; dos 20 alunos que formavam a turma, 18 participaram efetivamente de todas as etapas da pesquisa. Além disso, essa já era uma turma conhecida por mim, pois realizei um dos meus estágios obrigatórios do curso de licenciatura em física na classe. Esse convívio anterior com os alunos foi fundamental no que diz respeito à sinceridade das suas afirmações, tanto no questionário, quanto nas entrevistas.

No que concerne às questões éticas que foram rigidamente observadas, houve a busca da máxima integridade e imparcialidade em todo o percurso da pesquisa, de forma a não corromper os dados e as informações obtidas dentro do caso analisado. Além do mais, foi garantido o anonimato de todos os estudantes. Como é possível observar no capítulo 7 (Resultados e Discussões), tanto quanto nos apêndices disponibilizados, não é possível identificar nenhum dos discentes. Assim, garantiram-se a proteção dos participantes da pesquisa, a integridade desta, e até mesmo outras possíveis inadequações éticas que poderiam surgir foram adequadamente evitadas. (CRESWELL; CRESWELL, 2021).

A aula realizada (a intervenção) começou com uma breve explanação sobre o que é física moderna e como Albert Einstein revolucionou as noções de tempo e espaço; além disso, explicamos como tal noção de tempo está presente no funcionamento do GPS. Em sequência, foi discutida a concepção relativística da gravidade, explicando as principais diferenças entre a visão relativística e a que fundamenta a gravitação newtoniana. Nesse cenário, o conceito de deformação do espaço-tempo foi bastante utilizado, e um experimento que tenta explicar como ocorre tal deformação e como ocorrem os movimentos dos corpos celestes foi utilizado. Esse experimento é constituído por uma mesa coberta em sua superfície com um tecido de alta elasticidade; assim, quando colocados objetos sobre o tecido, ele é deformado, possuindo características similares ao efeito gravitacional na ótica da relatividade. A seguir, temos uma foto do experimento e uma de como ele foi utilizado, simulando bidimensionalmente a gravitação einsteiniana:

Figura 4 - Experimento construído para a intervenção pedagógica



Fonte: O autor

Figura 5 - Demonstração do experimento realizado na intervenção pedagógica



Fonte: O autor

Apesar da validade do experimento, principalmente se for levado em consideração o público e o grau de aprofundamento que se pretendia atingir, ele é incompleto e constitui apenas a gravidade em um âmbito bidimensional, sendo que gravidade, segundo a teoria da relatividade geral, diz respeito ao aspecto deformativo do espaço-tempo quadridimensional. Apesar disso, esse experimento foi de grande valia, a partir do qual foi possível observar entendimentos sobre a gravidade e o despertar de um gosto acentuado dos alunos por ele. Com o experimento foi explicado o funcionamento do fenômeno das ondas gravitacionais e um pouco do que acontece no caso dos buracos negros. Assim, foi explorado com o experimento o que são tais objetos cosmológicos e como eles estão situados no universo; além do mais, foi mostrada aos discentes a primeira foto de um buraco negro²⁰, retirada em 2019.

²⁰ Vide figura 3.

Por fim, foi explicado como funciona o fenômeno da fusão e fissão nuclear, onde a questão da equivalência entre massa e energia foi abordada e a famosa equação de Einstein, $E = mc^2$, foi detalhada; dessa forma, fechamos a aula. O *slide* utilizado na intervenção está situado no apêndice 3; ele foi a base criada para a intervenção e apresenta a sequência de conteúdos exibidos aos discentes. Ressalta-se o caráter elementar da exposição dialogada com os estudantes, de modo que foi buscado que eles entendessem as situações, objetos, e conceitos abordados, mas sem a necessidade do rigor teórico. Dessa forma, foi buscado que os alunos pudessem entender melhor o cenário tecnológico e epistemológico do mundo atual no que diz respeito aos assuntos da relatividade, mas sem serem, necessariamente, especialistas, conforme a linha de pensamento do letramento científico que delimitamos.

Após as entrevistas, seu conteúdo foi transcrito para um documento digital que totalizou 140 páginas. Em consequente, foram analisados os discursos dos estudantes através dos dados obtidos, questionários e entrevistas, e criadas 5 categorias de significação, baseando-nos e inspirando-nos na análise pós coleta de dados apresentada por Lüdke e André (2020) e na metodologia da análise de conteúdo. Segundo Bardin, a análise de conteúdo é:

Um conjunto de instrumentos metodológicos cada vez mais subtis em constante aperfeiçoamento, que se aplicam a «discursos» (conteúdos e continentes) extremamente diversificados. [...] Enquanto esforço de interpretação, a análise de conteúdo oscila entre os dois pólos do rigor da objectividade e da fecundidade da subjectividade. (BARDIN, 2002, p. 9)

Essas categorias emergiram de uma imensa leitura e releitura dos dados da pesquisa, chegando-se a perspectivas que estão amplamente presentes nos questionários e/ou nas entrevistas, levando em “[...] consideração tanto do conteúdo manifesto quanto do conteúdo latente do material.” (LÜDKE; ANDRÉ, 2020, p. 57) obtido, além de também serem estruturadas a partir dos objetivos desta pesquisa.

As 5 categorias selecionadas foram: Aprendizagens; Buracos Negros; Experimentos; Matemática no Contexto da Sala de Aula de Física; e Física Moderna no Cotidiano. Cada categoria pôde contar com respostas tanto dos questionários quanto das entrevistas. Em relação aos questionários, foram sendo colocadas as respostas dos alunos, sem as suas identificações, onde cada resposta, por categoria, é de um estudante diferente. Já em relação às entrevistas, elas foram elencadas de 1 a 6 e os discentes classificados por letras; cada letra diz respeito apenas a uma diferenciação entre os estudantes em uma categoria de significação específica, assim, um aluno ao qual foi atribuído a letra “a” em uma certa categoria, não

corresponderá necessariamente a um aluno também classificado com a letra “a” em outra categoria. Esse processo de classificação por letras serve apenas para a diferenciação dos discentes em uma mesma categoria. Em resumo, salienta-se que os alunos foram categorizados por números (entrevistas) e letras; no caso de não existir uma letra correspondente à fala de um determinado estudante, apenas um número, foi pego a fala de somente um aluno daquela entrevista classificada pelo número.

Os dados e a sua análise foram ocorrendo sem uma ordem preestabelecida, baseando-nos na perspectiva do letramento científico, nas inquietações advindas da utilização dos temas de relatividade e física moderna no ensino médio e em concepções emergentes dos dados. Salienta-se que foi buscado ir além da mera descrição dos dados, apresentando as problemáticas na conjuntura singular do caso pesquisado, estabelecendo nexos entre o específico (o caso) e o geral (base teórica), dentro do escopo dos objetivos delimitados para o estudo e das concepções preponderantes.

Dado o que fora dito, saliento que procurou-se promover uma ampliação do repertório conceitual e do debate em torno do ensino de física moderna e relatividade no ensino médio, além de enfatizar a importância da reflexão acerca do letramento científico e sua implementação.

Por fim, gostaríamos de destacar o papel do pesquisador no âmbito de uma pesquisa qualitativa, o qual tem que lidar com os participantes do estudo e todas as suas singularidades. Dessa maneira, apesar da objetividade e integralidade que compõem todo o estudo, compreende-se o pesquisar também como um sujeito da pesquisa, o qual está situado em uma realidade específica e em um contexto sociocultural singular. Dessa maneira, salienta-se a objetividade e impessoalidade da pesquisa científica aqui realizada, mas se sabe da realidade subjetiva inerente às pesquisas qualitativas, que de forma alguma as desqualifica, pelo contrário, usada com coerência e responsabilidade, as qualifica.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Abaixo são apresentadas as 5 categorias de significação elaboradas, as quais vão expor alguns dados da pesquisa, discussões acerca deles e do referencial teórico e traçar outras perspectivas.

7.1 APRENDIZAGENS

Pela análise dos questionários, percebeu-se que a maioria dos estudantes da pesquisa desconhecia os temas da física moderna, ou apresentava pouco conhecimento sobre essa área, além do aparecimento de ideias equivocadas ou distorcidas sobre conceitos de física moderna em determinadas respostas. Apesar disso, muitos deles expressaram interesse em temas relacionados às ciências. Isso pode evidenciar que os estudantes reconhecem a importância e o valor dos conhecimentos científicos e que até mesmo têm vontade de aprender mais sobre tópicos das ciências.

Abaixo trago algumas respostas escritas nos questionários respondidos pelos alunos, as quais podem proporcionar embasamentos sobre o que foi mencionado linhas acima. Algumas das respostas à questão *Você tem interesse em temas relacionados às Ciências? Se sim, por quê?* foram:

“Sim, é uma área do conhecimento de extrema importância e que está sempre presente na nossa vida.”

“Sim, porque sempre gostei de saber como acontece as coisas do mundo e do universo.”

“Sim, pois acho uma área muito interessante.”

“Não, não me identifico.”

“Não tenho interesse.”

“Não.”

“Depende.”

“Sim, principalmente sobre questão do universo.”

Apesar de termos respostas variadas e que podem ser vistas à luz de diversas perspectivas, quase todas seguem na linha das que apresentamos acima, com poucas divergências. Dessa forma, além do que já foi mencionado acerca dos conhecimentos prévios dos alunos, pode-se notar que eles possuem grande interesse em entender como funciona o universo. A física moderna, em especial a relatividade, pode proporcionar um crescimento crítico-intelectivo enorme nos alunos nesse sentido, ou, pelo menos, ser a porta de entrada para tal panorama delimitado pelo letramento científico.

Pensando na intervenção pedagógica realizada, como já exposto anteriormente, a duração da aula foi de cerca de 100 minutos, um curto tempo para que se possa aprender aprofundadamente a imensidão dos conteúdos propostos. De fato, a intervenção pedagógica realizada não teve a intenção de formar grandes sabedores dos temas abordados, mas contribuir para a formação dos discentes como cidadãos críticos acerca da realidade fenomenológica e dos aspectos a ela relativos. Além disso, essa intervenção pôde servir de incentivo para que os alunos venham a querer conhecer mais sobre os temas da física moderna e da relatividade.

Dado o dito, percebeu-se que todos os alunos conseguiram adquirir alguns conhecimentos. É interessante citar que esses conhecimentos foram adquiridos pelos estudantes de forma distinta, isto é, eles até poderiam estar falando sobre o mesmo tópico, mas usando expressões diferentes. Além do mais, também se percebeu que não houve uma homogeneidade na aprendizagem, ou seja, pode-se perceber que, em grande medida, os estudantes adquiriram conhecimentos distintos a partir da aula. A seguir, observa-se algumas frases ditas nas entrevistas:

“Eu sei que o tempo tem grande relação com o espaço, por que o tempo nem sempre é exato para duas pessoas que estejam..., medindo o tempo no mesmo horário, por que se uma pessoa estiver mais distante da outra o tempo sairá diferente, nem que seja alguns milésimos.” (1)

“Pronto, a, eu lembro dessa, que foi a questão do, quanto mais massivo um objeto, mais ele degrada o espaço-tempo, né, foi o que, foi o que foi dito na sala, e..., com o que só isso mesmo, eu lembro disso.” (2a)

“Também entra aí a questão do, quando se junta, sei lá, dois átomos, se era dois núcleos [...] E alguns dos [...] elétrons vão embora, sei lá, vão embora não, vira energia.” (2a)

“A questão é que se tornam... aaaa.. o espaço-tempo também, né? Que é os dois junto.” (3)

“A velocidade da luz é a velocidade mais rápida, né, e nem ela conseguiu sair de dentro do buraco negro.” (4)

“Que o tempo e espaço, eles, é, andam, entre aspas, juntos.” (5)

“Sim, que hoje a gente fala os dois juntos, se eu não me engano. Mas agora são, é tudo espaço-tempo, não só espaço, ou só tempo.” (6)

Pelas frases acima, pode ser inferido um pouco da aprendizagem que os discentes alvo do estudo obtiveram. A relatividade do tempo, a conversão massa-energia, o limite cósmico imposto pela velocidade da luz, a ideia de uma entidade física chamada espaço-tempo, e não de duas distintas, além da ideia da gravidade como deformação do espaço-tempo. Esse último conhecimento, que versa acerca da gravidade, o estudante que o expôs até chegou a se confundir quais das teorias da relatividade tratava sobre a gravidade, mas, apesar disso, ele conseguiu entender a ideia da gravitação relativística. Dessa maneira, foi possível perceber o ganho epistemológico que os estudantes tiveram com a intervenção pedagógica, a despeito da falta de conhecimentos que foi observada nos questionários. Isso é um indicativo do alerta que Salomão; Araujo e Mackedanz (2020), quando falam da pouca abordagem dos conteúdos de física moderna em sala de aula, onde os estudantes deixam, ou pouco aprendem, acerca dessa área do conhecimento tão importante para humanidade. Ademais, pode-se constatar a necessidade de se ter mais abordagens como a que foi realizada nesta pesquisa, dados os ganhos intelectuais que os estudantes foram capazes de adquirir.

Como já dito, o tempo da intervenção pedagógica foi curto, pode-se dizer que foi uma introdução aos temas da física moderna e relatividade. Com isso, muitos estudantes expressaram a vontade de ter mais aulas como a que foi lecionada, o que converge diretamente com os apontamentos e concepções que realizamos e estruturamos linhas acima. A seguir temos dois relatos dos estudantes que embasam o que foi dito.

“Dentro mesmo ali, pra, pra sabe, tudo, tudo, tudo mesmo, mas, é..., eu acho que sendo separado, certinho, pra, tipo assim, um a, nem que fosse uma hora, uma aula, de cinquenta minutos, no caso, pra cada tema, eu acho que seria perfeito.” (6)

“Mas tipo, assim, dava pra gente..., é porque realmente, foi como você disse, foi uma introdução do conteúdo, mas dava, por exemplo, pra gente continua, sabe, faz.” (5)

7.2 BURACOS NEGROS

Os buracos negros foram o tema que os alunos mais gostaram e expressaram curiosidade dentro dos temas de física moderna e relatividade que abordamos em nossa pesquisa. Em relação aos conhecimentos prévios dos estudantes, quando proposto a eles responderem a pergunta ***O que você pode nos dizer sobre buracos negros? Você já ouviu falar deles?*** Tivemos respostas como:

“Um mistério. Sim.”

“Sim, acho interessante, porém tenho medo de algum dia ser engolida por algum.”

“Sim, são buracos com força gravitacional, porem ocorre uma distorção entre materia e tempo.”

“não.”

“Já ouvi falar, ele deve sugar as coisas, né?”

“Sim, já fiquei muito intrigado sobre eles, mas não sei como são constituitos. Sei que são formados a partir de uma super nova, e que sua força gravitacional é extremamente forte e que nem a luz consegue fugir dessa forza.”

“buracos que não tem fim, que não se sabe o que tem.”

“Um buraco sem fim.”

Pelo que foi dito acima, fica evidente que esse é um tema que eles conheciam e até tinham um certo conhecimento sobre, mas que, acima de tudo, expressaram um certo fascínio por tais objetos cosmológicos, de forma como se pode imaginar o fascínio que cientistas

como Stephen Hawking teve por essas entidades físicas. Esses conhecimentos podem ser entendidos, pelo menos parcialmente, pela grande quantidade de informações que circulam nas mais variadas mídias e por ser um tema, como relata Hawking (2017), deveras estranho, ou seja, bastante misterioso.

Nas entrevistas, esse mesmo fascínio foi notado, e até mesmo comparações entre a pertinência de trabalhar esse ou outros assuntos de física surgiram. A seguir temos algumas falas dos estudantes acerca dos buracos negros.

“O buraco negro é um mistério na verdade, né, porque...” (1a)

“Nem a luz foge do seu campo gravitacional [...] Nem a velocidade da luz [...]” (1b)

“Velho, sinceramente, assim, faze uma comparação, é..., chega um professor um professor de física naaa, na sala: “hoje vamos estudar o movimento o retilíneo circular uniforme e dos carai a quatro”. Todo mundo fica, tipo: ‘ah, blz.’ [...] ‘Ah, eu quero sabe a frequência em que gira uma coisa no círculo’, Nossa. [...] A pessoa chega lá: “hoje vamo aprende sobre buraco negro” [...] Fala: ‘caralho’.” (2a)

“Mas, eu acho que, eu acho que é o maior mistério em relação a, do espaço, tipo, eu não sei muito em relação, sobre a questão de como tá o desenvolvimento em pesquisas pra sabe a relação sobre, com certeza há muitos mistérios no espaço, né, em sí, o espaço é o maior mistério de todos, o mundo em sí, né, mas a relação, que tipo, assim, não sabe pra onde vai, né, tipo, ok, é, é algo, que suga até a própria luz, que, e ninguém sabe, tipo, depois ta ali, eai o que é que acontece?” (2b)

“Que eles não têm fim, né isso?” (3)

“Lembra muito, também, aquela foto que você mostrou, só que, falou que, foram vários microscópicos espalhadas por todo mundo, conseguiram tirar a foto, né, do buraco negro. Eu achei bem interessante isso, porque a gente acha que é pequenininho, vai olha pro céu, vai vê uma estrelinha ali, mas não, é gigante, foram vários mis, microscópios, né, ao redor do mundo, e..., lembra muito também sobre aquela foto dele absorvendo a luz [...] A velocidade da luz é a velocidade mais rápida, né, e nem ela conseguiu sai de dentro do buraco negro.” (4)

“Que ele engole galáxias, ai, planetas, e.” (5)

É possível perceber, pelas falas dos estudantes escritas acima, que de fato eles possuíam uma determinada curiosidade sobre os buracos negros e um certo encantamento pelo tema, de forma relativamente semelhante ao encantamento apresentado nos questionários. Além disso, é possível constatar que eles demonstraram, mesmo que incompletos ou parcialmente errôneos, bons conhecimentos acerca desses objetos do universo. Conhecimentos estes, mais refinados que aqueles apresentados nos questionários, o que indica novamente a eficácia da intervenção pedagógica realizada com os discentes.

De fato, os buracos negros são um tema fascinante, e conhecê-los pode levar os estudantes a entenderem um pouco melhor sobre o nosso vasto universo, em consonância com o que foi apresentado acerca do letramento científico. Com um olhar simplório e imediatista, pode-se pensar que o tema em questão não deveria ser abordado no ensino médio, possivelmente por uma visão essencialmente pragmática. Contudo, trago algumas questões a serem discutidas. Por exemplo, pode-se pensar no ganho intelectual que os estudantes podem ganhar com esses conhecimentos, entendendo melhor a realidade fenomenológica; além de que, dado os muitos conceitos e ideias inerentes aos buracos negros, o discente pode aprender temas que, isoladamente, poderiam ser mais complicados para a compreensão; para mais, ainda tem a questão de quantas tecnologias foram desenvolvidas, mobilizadas e construídas devido aos buracos negros; tecnologias estas que podem perfeitamente estar presentes no dia a dia dos alunos, de modo que, eles podem conhecê-las melhor com os saberes acerca dos buracos negros.

7.3 EXPERIMENTOS

As atividades experimentais nas aulas de física, como comentado Batista *et al* (2021, p. 1) são fundamentais, pois

[...] o professor pode proporcionar ao aluno uma melhor observação do fenômeno estudado na teoria, o processo de aquisição na aprendizagem será, então, mais evidente, por intermédio da ação didática onde o professor provocará a curiosidade do aluno, o que o levará a entender, o fenômeno ocorrido.

Dessa forma, tais experiências podem contribuir para uma aprendizagem eficaz e significativa. Nos questionários não teve questões que versam sobre experimentos, tampouco foi citado pelos alunos algo sobre o assunto em seus escritos. Esse tema foi um que, tanto na

literatura²¹ que citamos, quanto nas entrevistas, se sobressaiu. Assim, sua classificação como categoria de significação se apresentou como imprescindível. Dado o que foi dito, usaremos apenas dados disponíveis nas entrevistas realizadas com os estudantes. Abaixo, temos algumas falas dos estudantes quando indagados acerca do experimento realizado, mostrado nas figuras 4 e 5, e até mesmo sobre experimentos de uma forma geral:

“Tipo, é, boa parte do, das coisa que realmente é colocado em prática, que a pessoa realmente vê acontecendo, a pessoa, é, coloca mais aquele conhecimento na mente, tipo, a, eu posso não lembra bem da teoria, mas eu, eu, eu lembrando do que realmente aconteceu na prática, fica bem mais fácil da pessoa, é, elaborar algo, sabe o que exatamente é. Tipo só a teoria, se o senho.” (1a)

“A teoria é tipo, é tipo você sentar numa mesa e, é, você num sabe, um exemplo, você não anda, é, diri, é..., dirigi um carro, o cara chega sentar numa mesa e falar pra você como é que, dirige, é, você vai tá ouvindo ali, só que você, você não vai, quando vai pegar um carro você não vai sabe. É..., a diferença, tipo, na prática, você mesmo, você mesmo, é..., até você observando, sem participar ali, você vai tá vendo o movimento de como funciona pra dirigir um carro, é tipo isso, é a mesma coisa do..., da aula prática na, na física, né?” (1b)

“Oxe, eu achei massa, vey, a questão do, da alteração do espaço-tempo com um objeto massivo, mostrar, né, tipo, [...] a teoria na prática é uma, uma forma, a melhor forma, eu acho, de estimula, porque só teoria, caderno e escreve e cálculo é uma desgraça. Gente ir pro um laboratório e mostra a teoria na prática, é mil vezes mais, instigante. (2)

“Eu achava assim, que a física também poderia ser um pouco, também, muito na prática, assim, de experimentos, não só, tipo, aula teórica dentro de sala, porque isso tanto é cansativo pro aluno, porque a gente deveria ter conhecimento a mais, né, de sair um pouco da sala de aula e vim pra um laboratório. E a gente teve poucas aulas de laboratório. Pra ter, assim, experimentos, foi pouco mesmo.” (3a)

“É essencial, porque, tipo, a gente ouve, escuta, né, tipo, o professor falando, aí você vendo, como na prática das chimbra [...].” (3b)

²¹ Vide o capítulo sobre *física moderna e relatividade no ensino médio*.

“Sim, e acabou fixando, que fixando até melhor na, na nossa mente, que a gente lembra: ‘ah, teve o experimento, pa, é aquilo, não fiquei com sono’”. (4)

“Porque a gente, a gente vê como funciona, tem uma demonstração simplificada de como funciona e a gente entende melhor do que quando fica só na lousa, aquela coisa, a gente vê de fato. [...] É. E..., termina que, a gen, a gente, sei lá, desperta atenção pra ir pesquisar depois, e, enfim.” (5a)

“Sim, porque teve a explicação, né, o senhor falo sobre, depois usou o exemplo na prática, posso dizer assim, é..., com as esferas, com, em relação ao, a gravidade e tal. Eu achei bem interessante.” (5b)

“[...] se, se repete toda semana aquela mesma coisa, que você tá ali sentado, que você tá ali ouvindo, nunca tem uma prática pra você, porque, eu não vou menti, tem muitas coisa que passa na sala de aula que eu não aprendo, mas, tipo, se, se levar pra prática, é bem melhor, as vezes você leva uma coisa, uma simples coisa que é falada ali, você aprende mais do que, aquele, tempão na sala de aula.” (6)

Nos textos acima fica evidente que os estudantes gostaram do experimento e têm consciência da sua importância, de forma a expressar que eles, de uma forma geral, contribuem bastante para a construção dos conhecimentos. Algo que já foi constatado pelos pesquisadores do ensino de física²², como Batista *et al* (2021) afirmam linhas acima.

De fato, o que foi comentado acima não poderia ser diferente. As fórmulas, equações, anotações e outras formas de personificação da realidade são apenas representações e não correspondem literalmente à realidade da natureza. Com experimentos, mesmo que de forma simplificada, os alunos têm a oportunidade de ter um contato com a natureza de forma acadêmica e crítica, de maneira a poderem aprender sobre um determinado tema. A realidade, como o espaço-tempo, sempre estará presente nas vidas dos alunos, de todas as pessoas no caso, mas cabe ao educador fazer com que os estudantes possam contemplá-la e analisá-la com os saberes já construídos pela humanidade. Ao falar sobre as formas de representação da natureza, de forma alguma tivemos a intenção de desdenhá-las ou de diminuir suas importâncias; de fato elas são extremamente relevantes e significativas, pois sem elas o conhecimento humano seria ínfimo, quiçá, inexistente.

²² Vide o capítulo sobre *física moderna e relatividade no ensino médio*.

7.4 MATEMÁTICA NO CONTEXTO DA SALA DE AULA DE FÍSICA

Essa categoria, tal como a anterior, emerge principalmente das entrevistas realizadas com os discentes, e, dada a contundência da temática nesta pesquisa, tal problemática não pôde ser ignorada. Nos questionários, tivemos ínfimas menções ao tema da matemática ou a qualquer ideia que faça parte do seu domínio. Dessa forma, nossa análise será pautada apenas nas entrevistas. A seguir temos algumas falas dos estudantes.

“É melhor estudar, sei lá, é, astronomia do que fazer uma pa de calculo que, poucos vão usar, sei lá, estudar é... [...] Eletro, eletromagnetismo, sendo que o cara vai ser um, pedreiro, um engenheiro agrônomo, [...], um engenheiro elétrico, alguma coisa assim, tipo.” (2a)

“É..., como, a, igual a aula que você fez aqui, tipo, experimento, essas coisa, porque, tipo assim, meio que eu tenho uma realidade sobre física, que física é só cálculo e, tipo, é. [...] E teoria chata, tipo. [...] Num, num não tem uma coisa que me deixe, tipo um experimento. [...] Acho como eu peguei aqui, é. Eu peguei um experimento aqui, você mostrou, né, aquelas bolinha ali que eu fiquei, mexendo assim, eu fi, fiquei interessada em sabe, é, aquela, aquela coisa, e tipo, eu acho que seria muito mais interessante se fosse mais teoria do que só cálculo, porque a gente, no ensino fundamental, eu particularmente, é, o ensino fundamental todo foi só isso, cálculo e força eletromagnética e.” (2b)

“Eu canso de fala que a física é a matemática chata.” (2c)

“A aula fez pra mim, tipo, ver a física de uma forma diferente, não vou menti. [...] porque, tipo, pra mim, física era mais cálculo, cálculo, cálculo, cálculo e aquela aula, tipo, foi algo diferente que chamou a atenção.” (3a)

“É porque foge um pouco dos cálcu, por. Acho que as pessoas vê física, muito jovens, que estão mesmo no ensino médio, e que não estuda a fisa, fi, física moderna, vê física só como cálculo e mais cálculo.” (3a)

“Muito interessante, é até mais interessante do que em relação aos cálculos, porque os cálculos geralmente deixa, é, a física um pouco mais complicada e deixa até mais saturado, aí quando chega nessas parte, tipo, é..., estuda sobre, buracos negros, é..., sobre outros planetas, essas coisa, isso se torna mais interessante. (4a)

“E acaba até mudando o, a nosso, consentimento sobre o que é física, é, diz: ‘a..., física, só cálculo, cálculo, cálculo, cálculo, cálculo.’” (4b)

“Acho que até pra quem gosta de cálculo a física que tá sendo dada hoje em dia, física tradicional, vamos dizer assim, se torna chato, se torna cansativo, chega a um ponto que você tem que estuda pra um prova, você não tem que estuda o assunto, e sim estudar formas de como passa na física.” (4c)

“É diferente, né, saiu mais um pouco, assim, da questão de cálculo e tal, daquela coisa monótona, é..., dar, assim, mais vontade de..., de..., da mais interesse por física e tal, porque pra mim, é..., eu tenho muito problema, né, co, com a matéria, então, estudar desse jeito fica mais fácil entende o conceito de como as coisas funcionam.” (5a)

“Ai, quando se trata de ser só cálculo, só cálculo, fica desinteressante, por isso que [...] a matéria se torna, é.” (5b)

“É, porque é, é, aluno é aquele negócio, tem que conquistar pra depois [...] pegar pesado, por exemplo, então, acho assim, claro que tem que ter parte do cálculo também porque faz parte da física, querendo ou não, mas eu acho se iniciasse, é, o semestre com algo mai, alguma coisa diferente, tal, é..., como é que eu posso dizer, misturasse a questão do cálculos com o, com exemplos que a gente teve, né, da gravidade e tal, in, interligasse uma coisa a outra acho seria bem mais fácil, tanto pra nos alunos quanto pra, pra o, o professor, né, porque iria sair ganhando, porque, os alunos com certeza iriam ficar, iriam falar bem.” (5a)

“São uns assuntos, assim, que..., que interessam a pessoa a quer saber sobre, né? Ne aqueles assunto que são só cálculo, cálculo, cálculo, fórmula, fórmula. É uma coisa que tem toda aquela teoria que, incentivasse, incentiva, né, mas que gera aquele interesse pro, pro estudante que que busca.” (6)

O tema da matemática foi bastante contundente nas entrevistas. O que é inequívoco nas afirmações acima é que os alunos têm uma ideia da física apenas como uma extensão da matemática; não como uma ciência própria que estuda a natureza e muitas das suas relações. A frase do discente 2c deixa nítido o que acabo de expressar. Salientando o que fora dito nas últimas linhas da categoria anterior, cito a enorme importância que a matemática tem para as várias áreas da ciência, não só das ciências físicas, contudo, percebe-se que a física acabou

sendo deixada de lado, tendo sua enorme importância obscurecida por, talvez, um excessivo formalismo matemático.

Como é possível observar pelo desconhecimento dos alunos da nossa pesquisa dos temas da física moderna e como comenta Salomão; Araujo e Mackedanz (2020, p. 238), “[...] os temas clássicos da Física são muito discutidos e debatidos, e acabam sendo tratados excessivamente com a matemática, levando a um formalismo pouco atrativo para jovens professores e estudantes.” Além disso, a partir do cenário das pesquisas de física moderna no ensino médio que comentamos no capítulo 5, já temos um outro indicativo de que a física que é tratada no ensino médio é basicamente a clássica e, como observado, com foco acentuado na questão matemática. Com isso, ressalta-se que “Aprender Física não é decorar fórmulas para resolver problemas ou definições e leis para dar respostas corretas nas provas. É muito mais do que isso.” (MOREIRA, 2021, p.1), ou seja, a física vai além dos cálculos e das fórmulas e constitui um campo epistemológico próprio e demasiadamente importante e significativo, que não pode ser obscurecido pelo seu arcabouço matemático.

Dado tudo o que fora dito, aponta-se, veementemente, para a necessidade dos docentes abordarem a parte conceitual das ciências físicas com vigor, em particular da física moderna e relatividade, fazendo com que os estudantes possam observar a realidade de maneira significativa, fora das lousas ou cadernos e vendo a física onde ela de fato está, por toda a extensão que se possa observar e até imaginar, preparando, ao menos parcialmente, os discentes na perspectiva do letramento científico.

7.5 A FÍSICA MODERNA NO COTIDIANO

A física está no cotidiano e nos diversos aparatos tecnológicos que se possa pensar, desde os satélites em órbita da terra, a *smartphones* e relógios de pulso. Nesse cenário dinâmico em que vivemos, a física moderna e a relatividade são áreas centrais do mundo epistemológico que temos à disposição. Mais que usar aparelhos eletrônicos ou saber sobre novidades tecnológicas, é importante saber, ao menos minimamente, como tais ferramentas ou novidades estão presentes no dia a dia. No questionário passado, foi possível analisar um pouco como os estudantes tinham noção da física (de modo geral) no cotidiano antes da intervenção didática. Em relação a pergunta: ***Os conteúdos abordados na disciplina de Física estimulam a sua curiosidade para aprender mais sobre os avanços científicos? Se sim, por quê?*** Obtivemos respostas como:

“Sim por que a física e muito importante a física está presente em todos os lugares onde andamos e vivemos.”

“Óbvio! Seria medíocre dizer o contrário. A física ensina o porquê das coisas, e isso chama muito atenção. Além disso, os avanços tecnologicos são oriundos dos assuntos de física. O que já é autoexplicativo.”

“eu sinceramente não gosto de física, mais quem um dia isso não mude.”

“Um pouco.”

“Sim, porque são coisas abordadas no dia a dia, coisas necessárias e importantes para o nosso conhecimento.”

“Não.”

“As vezes, depente do tema.”

“Sim, vêr como a física está presente em tudo o que conhecemos e o que ainda iremos descobrir, é muito interessante.”

“Sim, ficar por dentro das ‘atualidades’ nos estudo pode me auxiliar em um vestibular ou aprendizados da vida.”

“Sim, muita pelo fato de saber que existem muitas coisas que a física explica e que nos ajuda.”

“Sim, tem coisas bastante curiosas, onde a pessoa deve-se aprender e tem que procurar, evoluir.”

Pelos relatos dos alunos acima, é possível perceber que a maioria dos discentes tem uma grande consciência sobre a importância da física e dos avanços científicos no cotidiano; a despeito do que foi possível observar na categoria anterior, em que os alunos relatam um certo desinteresse pela disciplina de física, devido a um exagerado foco matemático.

Depois da intervenção, os estudantes relataram um pouco dessa perspectiva, especialmente no que diz respeito a física moderna e a relatividade. A seguir temos algumas falas dos estudantes.

“Seria bem mais equi, eficaz, tipo, eu tenho a certeza, como, é, aluno do terceiro ano, é, o pessoal que levar conhecimento pra vida, pra pessoa realmente passa no cotidiano, o, então. Pra passa no cotidiano.” (1a)

“É, sem tira temas que são importantes pra formação acadêmica, valia bem mais apenas por mais temas da, da atualidade, da, universo em geral.” (1b)

“Se chama [...] clássica, é, eu ia falar física antiga. É..., é necessário, né, pra compreender, é, relações do dia a dia, também, mas tipo, assim, querendo ou não, é, estudar atualidade é bom, né? e, o, tipo, o que a gente estudou muito, a questão dos avanços, na, em descobri a questão dos buracos negros, essas coisa, tipo, é muito interessante, e é algo atual, sabe?” (2a)

“Porque, tipo, querendo ou não, hoje em dia, a gente usa muito [...] é..., aparelhos eletrônicos, essas coisa mais moderno, né, que, tipo, fica preso a uma coisa que é ensinada na forma mais antiga, mas como é ensinada antes, eu acho que, é meio, mais difícil a compreensão, né? Porque, querendo ou não, hoje em dia a gente usa mais esse tipo de aparelho.” (2b)

“E às vezes a pessoa pode ver em algum luga e não saber de nada sem ter, assim, estudado, que nem a gente viu naquele dia que você deu aquela aula, foi muito importante. Muito importante mesmo, eu achei. Foi muito conhecimento, né? (3)

“Então, foi o que mais marcou mesmo, principalmente do buraco negro, porque, sempre a gente vê notícias por aí, mas nunca, bom, eu pelo menos, nunca parei pra: “a, vou pesquisar o que é o buraco negro”. Então a gente sempre vê e já é uma coisa que a gente sabe o que é, mas num, sabe perfeitamente como funciona, não sabe o que tem lá, aí foi.” (4)

“É, eu fiquei, uma coisa da aula que me chamou atenção foi aquela das estrelas que a gente comentou que, foi uma reflexão na ve, na ve, na hora que olha pra estrelas é olha pro passado, aí eu fui pesquisar quando eu cheguei em casa.” (5)

“Porque, como a pessoa vai ser formar e não sabe nem o que é um buraco negro, não sabe como é que funciona a gravidade, é, umas coisa assim, que, eu acho que isso é essencial a gente sabe, porque é uma coisa que ta no nosso dia a dia, né?” (6)

Através das falas expostas acima, percebe-se que os alunos entendem a importância de saber sobre temas de física moderna, e que esta área está intimamente relacionada com a realidade e a vivência cotidiana dos estudantes; isso está, em grande medida, em concordância com as respostas dos questionários apresentadas acima; o que muda, em essencial, é que após a intervenção eles puderam ver não somente a importância da física de uma forma mais geral e baseada em suas experiências com essa área, mas conseguiram compreender também a exímia importância dos saberes da física moderna. Para mais, pôde-se perceber, não só a partir das falas dos estudantes apresentadas acima, que os estudantes reconhecem a importância de compreender o mundo a sua volta, e que de fato a física está ao nosso redor, em especial a física moderna e a relatividade, e não apenas no chão da escola.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa pesquisa foi possível abordar diversas problemáticas relativas ao ensino de física moderna no ensino médio, na qual teve-se o foco nos temas da relatividade e do letramento científico. Foram obtidas considerações muito importantes em relação aos objetivos de pesquisa; além do mais, foi possível ir além e discutir problemáticas que não tinham sido imaginadas na estruturação inicial deste trabalho. Pode-se inferir que os objetivos deste estudo foram cumpridos e que boas experiências e aprendizados foram adquiridos por todos os participantes da pesquisa.

Neste estudo obteve-se uma enorme quantidade de dados, os quais poderão ser fonte de pesquisas vindouras. Dessa maneira, houve a necessidade de um recorte, pautando a visão da pesquisa em apenas uma parte das informações que foram obtidas. Todavia, esse recorte foi importante e significativo e pôde proporcionar reflexões bastante relevantes.

As categorias de significação elaboradas, proporcionaram boas reflexões e trouxeram apontamentos bem importantes no que diz respeito ao ensino de física moderna e relatividade; além de evidenciar a pertinência do letramento científico para todas as pessoas, em especial para os jovens. Como foi visto na categoria *aprendizagens*, os estudantes tiveram um ganho relativamente significativo de conhecimentos, podendo, a partir da intervenção realizada, buscarem aprimorar suas capacidades intelectivas e os seus saberes sobre o mundo moderno. Dessa maneira, pode-se afirmar que a semente do conhecimento foi plantada em suas cabeças, e agora eles estão um pouco mais preparados para entender o mundo que os cerca. Temas como os dos buracos negros, gravidade, fusão nuclear, entre outros, poderão ser buscados e melhor entendidos por eles quando se depararem com tais conteúdos, de forma que poderão estar aprimorando as suas intelectões, tornando-os mais críticos da realidade que vivemos. Assim, mesmo que os ganhos epistemológicos por parte dos alunos possam ser considerados poucos, para além dos saberes adquiridos, suas contribuições foram deveras importantes.

É bastante relevante destacar, a importância dos professores de física trabalharem com atividades experimentais em suas aulas, pois ficou evidente nesta pesquisa que elas podem ser um dos melhores recursos na construção dos conhecimentos de física, tornando-os mais significativos para os estudantes. Além disso, é também importante frisar a necessidade dos docentes abordarem intensamente a parte conceitual da física, e não apenas focar em sua estrutura matemática, de maneira que os discentes entendam que a física não está apenas no

quadro ou em seus cadernos, mas que ela está em toda a parte, pois estudar física, não é estudar simplesmente teses, ideias e noções repletas de conteúdos matemáticos, mas sim, estudar acerca da própria estrutura da natureza.

Discussões como as que foram aqui promovidas devem ser cada vez mais implementadas e refletidas pelos pesquisadores e atores sociais que atuam nas esferas educacionais. Temas como letramento científico, física moderna e relatividade se mostram cada vez mais relevantes e imprescindíveis, dado os avanços epistemológicos e tecnológicos que são possíveis observar pelo mundo. A relevância dos saberes científicos já é algo que não se é possível discutir, dados todos os ganhos que eles proporcionaram à humanidade, mas ainda se necessita de mais reflexões e ações que possibilitem às pessoas, em especial os estudantes, uma devida e significativa apropriação de tais conhecimentos. Os professores, particularmente os de física, podem ter uma grande contribuição no enorme panorama que delimitamos em nossa pesquisa, mesmo em suas ações educacionais singulares e modestas, pois, a partir de pequenos atos particulares, pode se chegar a grandes e prestigiosas mudanças.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, Benjamin P. et al. Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. **Physical review letters**, v. 116, n. 6, p. 061102, 2016. Disponível em: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.116.061102>. Acesso em: 17 maio 2023.
- ASSUNÇÃO, T. V. de; NASCIMENTO, R. R. do. Alfabetização científica e a academia: um olhar sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 1–17, 2019. DOI: 10.26843/rencima.v10i3.2040. Disponível em: <https://revistapos.cruzeirosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/2040>. Acesso em: 17 maio 2023.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2002.
- BATISTA, Danilo Corci *et al.* Atividade experimental para o ensino de física: efeito fotoelétrico. **Caderno de Física da UEFS**, v. 19, n. 1, p. 1-15, 2021. Disponível em: <http://dfisweb.uefs.br/caderno/vol19n1/S4Artigo03EfeitoFotoeletrico.pdf>. Acesso em: 17 maio 2023.
- BERTOLDI, Anderson. Alfabetização científica versus letramento científico: um problema de denominação ou uma diferença conceitual?. **Revista Brasileira de Educação**, v. 25, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbedu/a/zWmkbLPy9cwKRh9pvFfryJb/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 17 maio 2023.
- BRANCO, Alessandra Batista de Godoi *et al.* Alfabetização e letramento científico na BNCC e os desafios para uma educação científica e tecnológica. **Revista Valore**, v. 3, p. 702-713, 2018. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/174/185>. Acesso em: 17 maio 2023.
- BRASIL. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2023.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 27 dez. 2022.
- CRESWELL, John W.; CRESWELL, J. David. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2021.
- CUNHA, Rodrigo Bastos. Alfabetização científica ou letramento científico?: interesses envolvidos nas interpretações da noção de scientific literacy. **Revista Brasileira de Educação**, v. 22, p. 169-186, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbedu/a/cWsmkrWxxvcm9RFvvQBWm5s/#:~:text=S1413%2D24782017226809%20copiar-,Alfabetiza%C3%A7%C3%A3o%20cient%C3%ADfica%20ou%20letramento%20cient%C3%ADfico%3F%3A%20interesses%20envolvidos%20nas%20interpreta%C3%A7%C3%B5es,%22%2C%20em%20julho%20de%202012>. Acesso em: 17 maio 2023.

EINSTEIN, Albert. **A Teoria da Relatividade Especial e Geral**. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

Freire, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

OSTERMANN, Fernanda. **Tópicos de Física Contemporânea em escolas de nível médio e na formação de professores de Física**. 2000. 441 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/149956>. Acesso em: 17 maio 2023.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: óptica e física moderna**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HAWKING, Stephen. **Breves respostas para grandes questões**. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2018.

HAWKING, Stephen. **Buracos negros: palestras da BBC Reith Lectures**. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2017.

HAWKING, Stephen. **O universo numa casca de noz**. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. 2. ed. Rio de Janeiro: E.P.U., 2020.

MACHADO, Mairon Melo; SILVA, Gustavo Medeiros da; FONTELLA, Leandro Goya. Letramento científico e percepções populares: uma análise sobre conhecimentos de Ciência e pseudociência. *Ciência e Natura*, [S. l.], v. 43, p. e92, 2022. DOI: 10.5902/2179460X63306. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/63306>. Acesso em: 16 maio 2023.

SALOMÃO, João Pedro Quaresma Castro; ARAUJO, Rafael Rodrigues de; MACKEDANZ, Luiz Fernando. Um estudo bibliográfico sobre metodologias no ensino de Física Moderna e Contemporânea. **Arquivos do Mudi**, v. 24, n. 3, p. 233-243, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/download/55481/751375151318/>. Acesso em: 17 maio 2023.

SAMPAIO, Wilton Souza; OLIVEIRA, Antônio Nunes de; SIQUEIRA, Marcos Cirineu Aguiar. AS TEORIAS DA RELATIVIDADE NO ENSINO BÁSICO: UMA REVISÃO DE LITERATURA PARA TRAÇAR O PERFIL DOS TRABALHOS PUBLICADOS NO BRASIL ENTRE 2000 E 2018. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, [S.l.], v. 13, n. 4, p. 45 - 53, dec. 2019. ISSN 2176-0144. Disponível em: <http://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/1857>. Acesso em: 17 maio 2023.

SILVA, João Ricardo Neves da; ARENGHI, Luis Eduardo Birello; LINO, Alex. Porque inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 1, 2013. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/1170>. Acesso em: 17 maio 2023.

SOARES, Magda. **Letramento**: um tema em três gêneros. 3. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2009.

MACHADO, Mairon Melo; DA SILVA, Gustavo Medeiros; FONTELLA, Leandro Goya. Letramento científico e percepções populares: uma análise sobre conhecimentos de Ciência e pseudociência. **Ciência E Natura**, v. 43, p. e92-e92, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/63306>. Acesso em: 17 maio 2023.

MAMEDE, Maíra; ZIMMERMANN, Erika. Letramento científico e CTS na formação de professores para o ensino de ciências. **Enseñanza de las Ciencias**, n. Extra, p. 1-4, 2005. Disponível em: https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRAp320letecie.pdf. Acesso em: 17 maio 2023.

MARQUES *et al.* Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 15, n. 7, 2019. DOI: 10.14808/sci.plena.2019.074809. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/4833>. Acesso em: 17 maio 2023.

MARQUES, L. V.; SOLTAU, S. B. General relativity in High School: a literature review. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 11, n. 8, p. e40611831247, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i8.31247. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/31247>. Acesso em: 17 maio 2023.

MOREIRA, Marco Antonio. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20200451, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJsfCRNFCxHqLy/>. Acesso em: 23 jul. 2023.

MOURA, Fábio Andrade de; VIANNA, Pedro Oliveira. O Ensino de Física Moderna baseado no filme Interestelar: Abordagem didática para a aprendizagem significativa. **Research, Society And Development**, v. 8, n. 3, p. 01-16, 2019. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5606/560662194015/560662194015.pdf>. Acesso em: 17 maio 2023.

PEREIRA, Patrícia do Nascimento; GUERINI, Silvette Coradi; SÁ-SILVA, Jackson Ronie. Os conteúdos de Física Moderna em livros didáticos de Física do Ensino Médio. **Debates em Educação**, [S. l.], v. 11, n. 24, p. 106–124, 2019. DOI: 10.28998/2175-6600.2019v11n24p106-124. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/debateseducacao/article/view/7656>. Acesso em: 17 maio 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - QUESTIONÁRIO PASSADO AOS DISCENTES



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Instituto Federal de Alagoas - IFAL
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

**QUESTIONÁRIO – CIÊNCIA, FÍSICA MODERNA
E RELATIVIDADE (RESTRITA E GERAL)**

1. Você tem interesse em temas relacionados às Ciências? Se sim, por quê?

2. Você já ouviu falar sobre física moderna? Se sim, o que significa esse termo para você?

3. Você lê revistas, vê vídeos na internet, ou busca sites que tratam sobre os avanços da ciência moderna?

4. Já ouviu falar sobre Albert Einstein e suas Teorias da Relatividade? Se sim, comente sobre ele e/ou essas teorias.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Instituto Federal de Alagoas - IFAL
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

5. Já se perguntou sobre o que é o tempo? O que seria o tempo para você?

6. No decorrer da sua trajetória escolar e no seu dia a dia você possivelmente já se deparou com a palavra “espaço”; um exemplo é quando se fala sobre velocidade, onde ela seria a variação do espaço pelo tempo. Para você, o que significa a palavra espaço?

7. Já ouviu falar sobre gravidade? Se sim, como você a explicaria?



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Instituto Federal de Alagoas - IFAL
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

8. O que você pode nos dizer sobre buracos negros? Você já ouviu falar deles?

9. Você já usou alguma vez o sistema que chamamos de GPS? Sabe algo sobre seu funcionamento?
Se sim, o que?

10. Já ouviu falar sobre fusão nuclear? O que você pode nos contar sobre esse tema?

11. Você ficou sabendo da detecção de ondas gravitacionais? Sabe dizer o que são essas ondas?



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Instituto Federal de Alagoas - IFAL
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

- 12.** Os conteúdos abordados na disciplina de Física estimulam a sua curiosidade para aprender mais sobre os avanços científicos? Se sim, por quê?

APÊNDICE 2 - QUESTÕES QUE NORTEARAM AS ENTREVISTAS



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Instituto Federal de Alagoas - IFAL
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

CIÊNCIA, FÍSICA MODERNA E RELATIVIDADE
ENTREVISTA - QUESTÕES NORTEADORAS

1. Com base na aula que tivemos e suas experiências anteriores, o que vocês acham do ensino de tópicos de Física Moderna?
2. Foi possível compreender, depois da aula, o que seria Física Moderna?
3. A aula realizada te motivou a pesquisar sobre tópicos de Física Moderna: Relatividade, Gravidade, Buracos Negros, entre outros?
4. Sobre Albert Einstein e suas Teorias da Relatividade? O que você pode se recordar do que foi dito em sala de aula?
5. Falamos sobre o tempo e o espaço na aula. O que vocês recordam desses conceitos? A aula gerou interesse para pesquisarem mais sobre os temas?
6. Na aula discutimos um pouco sobre a gravidade e as ondas gravitacionais, ocorreu até um experimento. O que vocês podem falar sobre esse tema? Agora estarão mais interessados em aprender/pesquisar sobre isso?
7. Falamos também sobre buracos negros. O que vocês conseguiram compreender desse objeto do universo? As aulas de Física seriam mais atrativas se este tema fosse abordado nas aulas regulares?
8. Lembra que falamos sobre GPS? o que vocês podem nos dizer sobre esse sistema?
9. Falamos sobre fusão nuclear e fissão nuclear? Lembra do que foi falado sobre esse dois temas? Agora estarão mais interessados em aprender/pesquisar sobre isso?



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Instituto Federal de Alagoas - IFAL
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

10. Os conteúdos abordados na aula conseguiram estimular a sua curiosidade para aprender mais sobre os avanços científicos? Ou teorias físicas?
11. O que você acha dos professores começaram a dar aulas sobre os temas que trabalhamos em sala?
12. Vocês acham que o tempo de realização da aula foi suficiente para trabalhar aqueles conteúdos que foram ministrados, lembrando que era uma aula introdutória?
13. O experimento realizado em sala de aula contribuiu para aumentar o interesse nos temas relacionados à Física Moderna?
14. Por fim, vocês teriam algo a mais a dizer sobre a aula que tivemos ou/e sobre os conteúdos que abordamos?

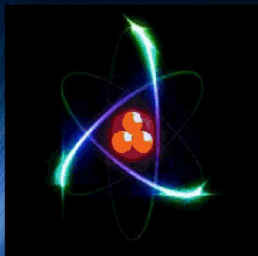
APÊNDICE 3 - SLIDES DA INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA REALIZADA



Física Moderna

- A Física Moderna é a área das ciências físicas desenvolvida a partir de 1900 até os dias atuais. Ela é dividida em duas grandes campos: Física Quântica e Relatividade (Restrita e Geral).

FÍSICA QUÂNTICA



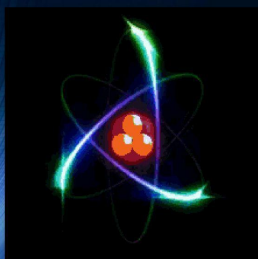
RELATIVIDADE RESTRITA



Física Moderna

- A Física Moderna é a área das ciências físicas desenvolvida a partir de 1900 até os dias atuais. Ela é dividida em duas grandes campos: Física Quântica e Relatividade (Restrita e Geral).

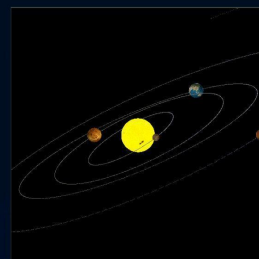
FÍSICA QUÂNTICA



RELATIVIDADE RESTRITA



RELATIVIDADE GERAL



Física Moderna

- Temos vários cientistas que desenvolveram essa área, todos muito importantes. Destacamos dois:

Física Moderna

- Temos vários cientistas que desenvolveram essa área, todos muito importantes. Destacamos dois: Stephen Hawking



Física Moderna

- Temos vários cientistas que desenvolveram essa área, todos muito importantes. Destacamos dois: Stephen Hawking e Albert Einstein



Tempo e Espaço na Relatividade (Restrita e Geral)



- Foi Albert Einstein quem desenvolveu as teorias da relatividade. A teoria da relatividade restrita, em especial, vai implicar em três noções que podem parecer totalmente absurdas, mas que têm grande comprovação experimental. São elas:



Tempo e Espaço na Relatividade (Restrita e Geral)



- Foi Albert Einstein quem desenvolveu as teorias da relatividade. A teoria da relatividade restrita, em especial, vai implicar em três noções que podem parecer totalmente absurdas, mas que têm grande comprovação experimental. São elas:

TEMPO NÃO É ABSOLUTO





Tempo e Espaço na Relatividade (Restrita e Geral)

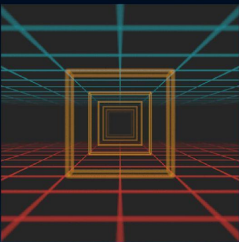


- Foi Albert Einstein quem desenvolveu as teorias da relatividade. A teoria da relatividade restrita, em especial, vai implicar em três noções que podem parecer totalmente absurdas, mas que têm grande comprovação experimental. São elas:

TEMPO NÃO É ABSOLUTO



ESPAÇO NÃO É ABSOLUTO





Tempo e Espaço na Relatividade (Restrita e Geral)

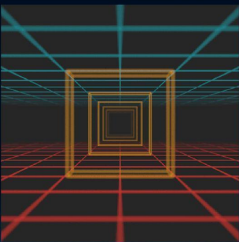


- Foi Albert Einstein quem desenvolveu as teorias da relatividade. A teoria da relatividade restrita, em especial, vai implicar em três noções que podem parecer totalmente absurdas, mas que têm grande comprovação experimental. São elas:

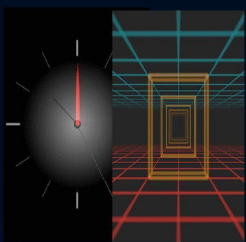
TEMPO NÃO É ABSOLUTO



ESPAÇO NÃO É ABSOLUTO



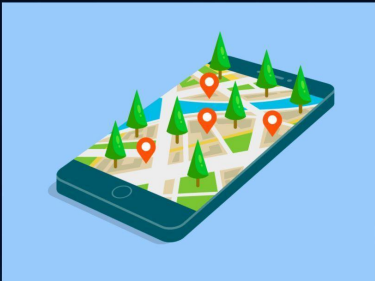
O ESPAÇO E O TEMPO SÃO UMA COISA SÓ





Sistema de Posicionamento Global (GPS)

- Além da ampla comprovação experimental das implicações citadas, temos diversas tecnológicas a elas relacionadas. Um exemplo é o sistema de navegação global (GPS).

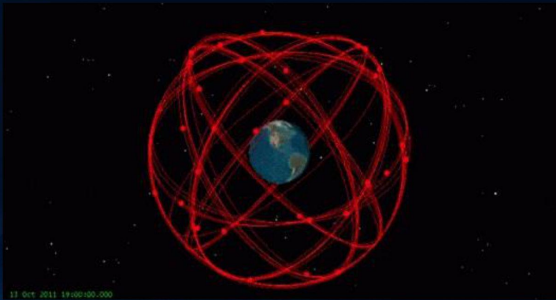






Sistema de Posicionamento Global (GPS)

- Além da ampla comprovação experimental das implicações citadas, temos diversas tecnológicas a elas relacionadas. Um exemplo é o sistema de navegação global (GPS).







Interação Gravitacional Relativística

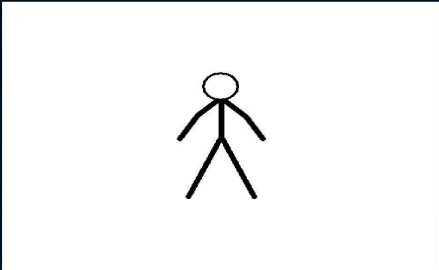
- A teoria da relatividade geral, por sua vez, é uma generalização da Relatividade Restrita, a qual inclui a interação gravitacional a teoria Restrita





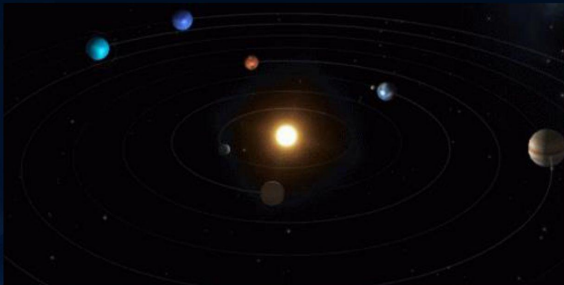
Interação Gravitacional Relativística

- A teoria da relatividade por sua vez, é uma generalização da Relatividade Restrita, a qual inclui a interação gravitacional a teoria Restrita



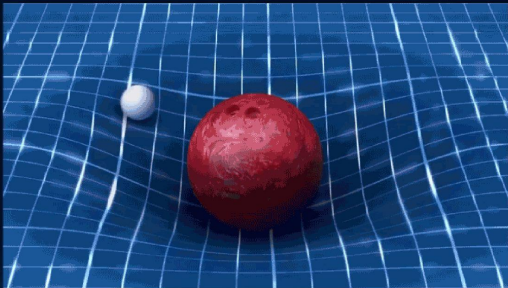
Interação Gravitacional Relativística

- A teoria da relatividade por sua vez, é uma generalização da Relatividade Restrita, a qual inclui a interação gravitacional a teoria Restrita



Interação Gravitacional Relativística

- A teoria da relatividade por sua vez, é uma generalização da Relatividade Restrita, a qual inclui a interação gravitacional a teoria Restrita

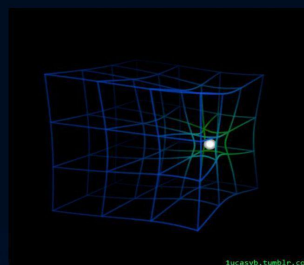
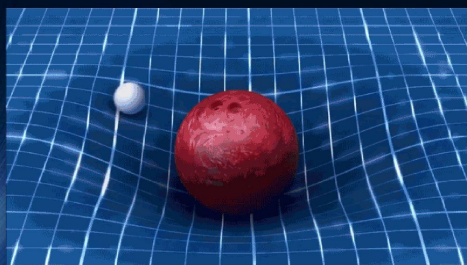




Interação Gravitacional Relativística



- A teoria da relatividade por sua vez, é uma generalização da Relatividade Restrita, a qual inclui a interação gravitacional a teoria Restrita



Ondas Gravitacionais



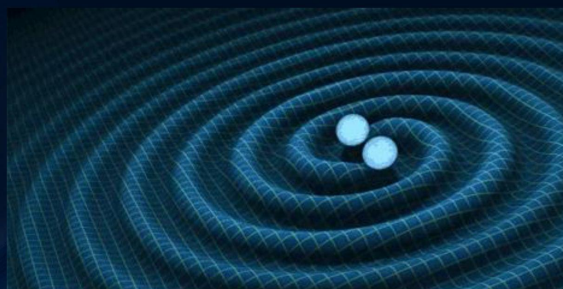
- Se o espaço-tempo é como um tecido que se deforma, nele tem-se a geração de ondas, as já comprovadas ondas gravitacionais.



Ondas Gravitacionais



- Se o espaço-tempo é como um tecido que se deforma, nele tem-se a geração de ondas, as já comprovadas ondas gravitacionais.





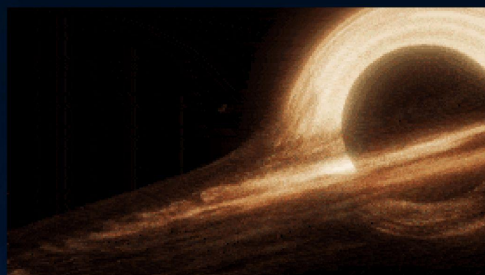
Buracos Negros

- E qual é o objeto que mais deforma o espaço-tempo? Se você pensou em buracos negros você acertou. Eles são objetos extremamente compactos que nem a luz consegue escapar da sua gravidade.



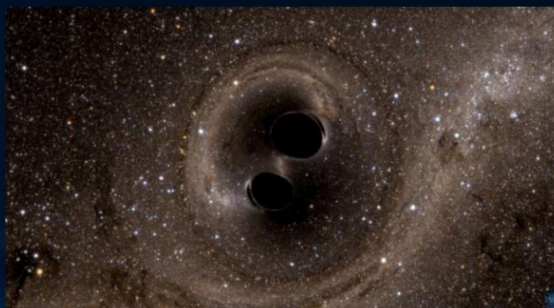
Buracos Negros

- E qual é o objeto que mais deforma o espaço-tempo? Se você pensou em buracos negros você acertou. Eles são objetos extremamente compactos que nem a luz consegue escapar da sua gravidade.



Buracos Negros

- E qual é o objeto que mais deforma o espaço-tempo? Se você pensou em buracos negros você acertou. Eles são objetos extremamente compactos que nem a luz consegue escapar da sua gravidade.

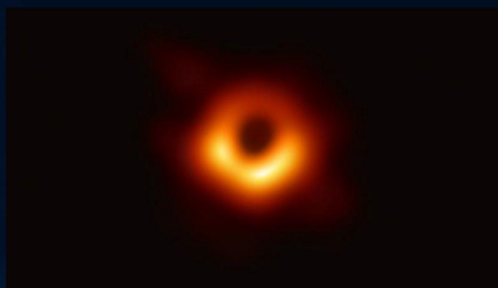




Buracos Negros



- E qual é o objeto que mais deforma o espaço-tempo? Se você pensou em buracos negros você acertou. Eles são objetos extremamente compactos que nem a luz consegue escapar da sua gravidade.



Fusão Nuclear



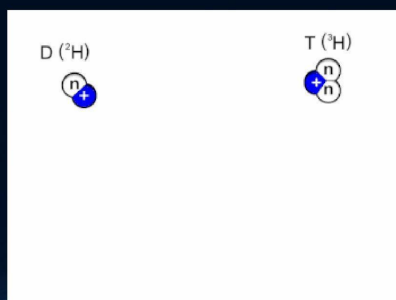
- Fusão nuclear é o processo de junção de dois núcleos atômicos para formar outro mais pesado. Acontece que nesse acontecimento a massa do núcleo formado sempre é inferior a soma das massas dos núcleos iniciais. Para onde vai a massa restante?



Fusão Nuclear



- Fusão nuclear é o processo de junção de dois núcleos atômicos para formar outro mais pesado. Acontece que nesse acontecimento a massa do núcleo formado sempre é inferior a soma das massas dos núcleos iniciais. Para onde vai a massa restante?





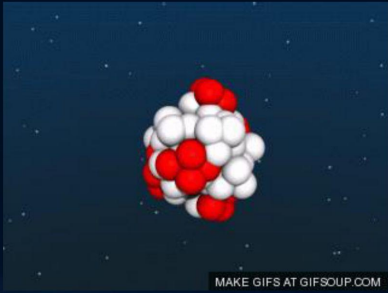
Fissão Nuclear

- Fissão nuclear é justamente o processo inverso, quando um átomo é atingido por uma partícula e se divide em dois. Nesse caso, também ocorre a transformação de parte da massa em energia.



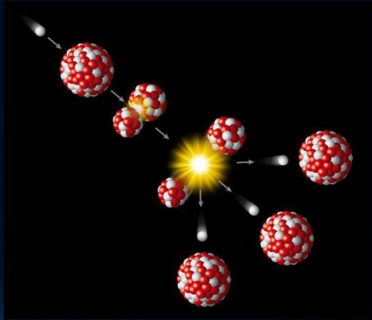
Fissão Nuclear

- Fissão nuclear é justamente o processo inverso, quando um átomo é atingido por uma partícula e se divide em dois. Nesse caso, também ocorre a transformação de parte da massa em energia.



Fissão Nuclear

- Fissão nuclear é justamente o processo inverso, quando um átomo é atingido por uma partícula e se divide em dois. Nesse caso, também ocorre a transformação de parte da massa em energia.





Fusão e Fissão Nuclear



- Alguns exemplos de fenômenos decorrentes da fusão e fissão nuclear, respectivamente, são:



Fusão e Fissão Nuclear



- Alguns exemplos de fenômenos decorrentes da fusão e fissão nuclear, respectivamente, são:

ENERGIA QUE VEM DO SOL



Fusão e Fissão Nuclear



- Alguns exemplos de fenômenos decorrentes da fusão e fissão nuclear, respectivamente, são:

ENERGIA QUE VEM DO SOL



BOMBA ATÔMICA





Fusão e Fissão Nuclear

- Existe uma equação que vai relacionar massa e energia, ela é:



Fusão e Fissão Nuclear

- Existe uma equação que vai relacionar massa e energia, ela é:

$$E=mc^2$$



Alguma dúvida?





Bibliografia Utilizada

- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: óptica e física moderna**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- HAWKING, Stephen. **O universo numa casca de noz**. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.
- HAWKING, Stephen. **Uma breve história do tempo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2015.
- KNIGHT, Randall D. **Física 4: uma abordagem estratégica**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física IV: ótica e física moderna**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.



Obrigado Pela Atenção!

