



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

LARISSA EDUARDA MARIANO MEDEIROS

UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O USO DE SÉRIES DE TELEVISÃO
NO ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA APLICADA AO
ENSINO MÉDIO

FORTALEZA

2021

LARISSA EDUARDA MARIANO MEDEIROS

UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O USO DE SÉRIES DE TELEVISÃO NO
ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA APLICADA AO ENSINO
MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Programa de Graduação
em Física da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção
do título de licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Andrey Chaves

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M439p Medeiros, Larissa Eduarda Mariano.

Uma proposta metodológica para o uso de séries de televisão no ensino de Física Moderna e Contemporânea aplicada ao ensino médio / Larissa Eduarda Mariano Medeiros. – 2021.

61 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Física, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Andrey Chaves.

1. Séries. 2. Ensino. 3. Física. I. Título.

CDD 530

LARISSA EDUARDA MARIANO MEDEIROS

UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O USO DE SÉRIES DE TELEVISÃO NO
ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA APLICADA AO ENSINO
MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Programa de Graduação
em Física da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção
do título de licenciado em Física.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Andrey Chaves (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Daniel Brito de Freitas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Ramos Gonçalves
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus por tudo.

A minha mãe e minha irmã por sempre
apoiarem meus sonhos.

A imaginação é mais importante que o conhecimento. O conhecimento é limitado, enquanto a imaginação abraça o mundo inteiro, estimulando o progresso, dando origem à evolução. (Albert Einstein).

RESUMO

As séries televisivas vêm tomando cada vez mais espaço no dia a dia das pessoas, sendo muitas dessas voltadas para um gênero literário intrigante: a ficção científica. Apesar de a física ainda ser uma disciplina aparentemente pouco apreciada por estudantes, em geral, a ficção científica dos seriados vem provocando curiosidade nos telespectadores sobre temas físicos ainda pouco abordados nas escolas, muitas vezes devido à sua complexidade. Esta monografia tem por objetivo analisar cenas de três séries atuais de televisão (*Dark*, *Chernobyl* e *The Big Bang Theory*) que abordam temas de Física Moderna e Contemporânea e como essas podem auxiliar o ensino de tópicos de física mais complexos no ensino médio, tendo como foco a comparação entre o real e o ficcional em relação à teoria física aceita, buscando, dessa forma, dinamizar a aprendizagem e desenvolver o senso crítico dos estudantes, conectando a física lecionada na escola com situações presentes no mundo.

Palavras-chaves: Séries. Ensino. Física.

ABSTRACT

Television series have been taking more and more space in people's daily lives, many of them focusing on an intriguing literary genre: science fiction. Although physics is still a subject apparently less appreciated by students, in general, the science fiction of the series has been provoking curiosity in viewers about physics topics still less covered in schools, often due to their complexity. This monograph aims to analyze scenes from three current television series (Dark, Chernobyl and The Big Bang Theory) that address topics of Modern and Contemporary Physics and how these can help the teaching of more complex physics topics in high school, focusing on the comparison between the real and the fictional in relation to accepted physics theories, thus seeking to make the learning process more dynamic and develop students' critical sense, connecting the physics taught in school with situations present in the world.

Keywords: Series. Teaching. Physical.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Foto de capa da série <i>Dark</i>	20
Figura 2	– Foto de capa da série <i>Chernobyl</i>	21
Figura 3	– Foto de capa da série <i>The Big Bang Theory</i>	22
Figura 4	– Diagramas de um buraco de minhoca que liga dois universos ou duas regiões distintas do espaço-tempo	25
Figura 5	– Ilustração do gato de <i>Schrödinger</i> na caixa	25
Figura 6	– Superposição dos estados do gato de <i>Schrödinger</i>	26
Figura 7	– Imagem de um evento simulado no detector de CMS (Solenóide de Múon Compacto) em que aparece o bóson de <i>Higgs</i>	27
Figura 8	– Esquema do processo de fissão nuclear	30
Figura 9	– Estrutura atômica do grafeno	31
Figura 10	– Placa de grafeno	32
Figura 11	– Imagem de trecho do episódio 8, temporada 1 de <i>Dark</i>	33
Figura 12	– Imagem de trecho do episódio 7, temporada 3 de <i>Dark</i>	37
Figura 13	– Imagem de trecho do episódio 2, temporada 2 de <i>Dark</i>	40
Figura 14	– Imagem de trecho do episódio 2, temporada 1 de <i>Chernobyl</i>	44
Figura 15	– Imagem de trecho do episódio 14, temporada de 3 de <i>The Big Bang Theory</i>	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMC	Física Moderna e Contemporânea
CMS	<i>Compact Muon Solenoid</i> (Solenóide de Múon Compacto)
LHC	<i>Large Hadron Collider</i> (Grande Colisor de Hádrons)
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Construtivismo	16
3	METODOLOGIA	18
4	SÉRIES ANALISADAS	20
4.1	Dark	20
4.2	Chernobyl	21
4.3	The Big Bang Theory	22
5	CONCEITOS FÍSICOS EXPLORADOS	23
5.1	Relatividade Geral	23
5.1.1	<i>Ponte de Einstein-Rosen</i>	23
5.1.2	<i>Gato de Schrödinger</i>	25
5.1.3	<i>Bóson de Higgs</i>	26
5.2	Física Nuclear – Radioatividade	28
5.3	Grafeno e a Física Contemporânea	30
6	CENAS ANALISADAS	33
6.1	Dark: Ponte de Einstein-Rosen	33
6.2	Dark: Gato de Schrödinger	37
6.3	Dark: Bóson de Higgs	40
6.4	Chernobyl: Radioatividade	43
6.5	The Big Bang Theory: Grafeno	47
7	RESULTADOS ESPERADOS	51
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Disputando o espaço com os filmes cinematográficos, os seriados têm se tornado uma forma de entretenimento muito apreciada por pessoas de todas as idades. Além de uma forma de lazer e hobby, as séries de televisão são uma forma de divulgar ciência e tecnologia despertando a curiosidade e levando os espectadores e adquirirem conhecimento científico de forma simples e acessível. De acordo com Nogueira (2005, p. 02),

As transposições e as vivências que a linguagem cinematográfica possibilita são tão marcantes, que muitas vezes elas se tornam as referências profundas e comuns pelas quais a ciências e tecnologia são percebidas por grande parte da sociedade.

Um gênero atualmente muito explorado em séries e seriados que desperta a curiosidade e a imaginação é a ficção científica. Devido suas ramificações e subgêneros, a ficção científica não possui uma fácil definição, apesar da busca de uma definição sucinta ao longo do tempo. Para Hugo Gernsback (1926), autor da revista *Amazing Stories* e um dos primeiros a tentar definir o gênero, “por cientificação, eu falo sobre aquele tipo de romance de Jules Verne, H. G. Wells e Edgar Allan Poe, um romance charmoso, entrelaçado com fatos científicos e visões proféticas”. Sendo um gênero apreciado por diretores e produtores devido suas diversas ramificações e aplicações, a ficção científica deixou de ser apenas um entretenimento para se tornar uma fonte de possíveis descobertas, trazendo a possibilidade à algo que era visto como improvável e, muitas vezes, “não científico” como exemplo do livro *De La Terre à la Lune* (Da Terra à Lua) escrito por Júlio Verne em 1865, quase cem anos antes do primeiro homem pisar na lua, trazendo uma aproximação da realidade ao acertar sobre a falta de peso no espaço, as dimensões da cabine da aeronave e onde seria a melhor base de lançamento. Apesar desse gênero ter surgido no final do século XIX com os romances científicos com a ciência no nível da invenção de Júlio Verne e as novelas científicas com críticas sociais de H.G. Wells, ele tem voltado ao sucesso atualmente através de filmes e séries com efeitos cada vez mais realistas que proporcionam uma imersão maior no ambiente ficcional retratado.

Desta forma, os avanços tecnológicos das últimas décadas vêm possibilitando uma exposição cada vez mais precisa de temas científicos, antes pouco explorados, despertando o interesse de crianças e adolescentes em assuntos mais abstrusos. Atualmente, seriados voltados para temas de física moderna são encontrados facilmente na mídia e instigam o imaginário dos jovens, que levam discussões cada vez mais complexas à sala de aula envolvendo por exemplo episódios de *The Big Bang Theory* e *The Flash*. No entanto, é alarmante perceber como o ensino de ciências no âmbito escolar não avançou concomitantemente com a realidade escolar, na qual a física moderna ainda é ensinada de forma superficial, suprimindo temas ligados a atualidade, ou, em alguns casos, considerada complexa para o ensino médio.

Analisando alguns livros didáticos (Tópicos de Física 3 - Ricardo Helou Doca, Gualter Jose Biscuola, Newton Vilas Boas – Editora Saraiva, Compreendendo a Física, volume 3 – Alberto Gaspar - Editora Ática, Física: Contexto e Aplicações – Máximo, Alvarenga e Guimarães – Editora Scipione) na área do ensino de física, fica perceptível essa defasagem, assim como a necessidade de uma proposta de ensino mais atual e contextualizada. Ostermann e Moreira (2000, p.24) destacam alguns motivos para que a física moderna seja abordada nas escolas através de uma revisão de literatura sobre a atualização do currículo de física no ensino médio, como:

- despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;
- os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não veem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;
- é do maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física;
- é mais divertido para o professor ensinar tópicos que são novos. O entusiasmo pelo ensino deriva do entusiasmo que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que o entusiasmo tem sobre o bom ensino (OSTERMANN 2000, p. 24).

A Física Moderna e Contemporânea (doravante FMC), apesar de estar cada vez mais inclusa na vida das pessoas através de filmes, seriados ou mesmo de

descobertas científicas divulgadas ocasionalmente nos meios de comunicação, ainda é parcamente abordada no meio escolar. Incluída de forma resumida em livros de escolas seletas, a física moderna é apresentada como um assunto complexo para o ensino médio e o ensino se volta para a memorização de fórmulas e das teorias mais básicas da relatividade de Einstein. Entretanto, segundo Ostermann (2001, p. 11),

[...] é viável ensinar Física Moderna no Ensino Médio, tanto do ponto de vista do ensino de atitudes quanto de conceitos. É um engano dizer que os alunos não têm capacidade para aprender tópicos atuais. A questão é como abordar tais tópicos [...] se houve dificuldades de aprendizagem não foram muito diferentes das usualmente enfrentadas com conteúdo da física clássica [...] os alunos podem aprendê-la se os professores estiverem adequadamente preparados e se bons materiais didáticos estiverem disponíveis.

No entanto, apesar da busca do professor de estar sempre atualizado em relação à disciplina, trazer a curiosidade dos alunos para os temas de física abordados durante a aula ainda é uma dificuldade presente, seja pela falta de infraestrutura das escolas ou pela redução da carga horária. Portanto, mesmo a necessidade de reformular o ensino de FMC sendo imprescindível, um novo problema surge: como abordar esses conceitos de forma a incentivar a aprendizagem para que isso não se torne apenas um novo “tópico problemático” na visão dos estudantes?

Faz-se necessário utilizar recursos além dos básicos trabalhados nas escolas e, como solução, Orozco-Gómez (1997) relembra-nos o atual papel da TV no âmbito educacional atuando como uma segunda escola e levando os educadores a se reinventarem. Para o autor, a TV, devido sua abundância de informação, acabar por lidar com temas mais relevantes para as crianças que a escola, além de oferecer uma programação que estimula a imaginação e, por consequência, a aprendizagem. O uso de séries de televisão se mostra um excelente elemento motivador já que os jovens dispensam boa parte de seu tempo na frente da televisão e computador, além de o uso de equipamentos tecnológicos já ser algo trivial e constante nos dias de hoje.

Por fim, a proposta de inovação no ensino de FMC trazida por esta monografia consiste em analisar trechos de séries de TV, seriados e minisséries

atuais que contemplem tópicos selecionados da disciplina de física e que sustentem, além da motivação dos estudantes, uma análise crítica das cenas, destacando e diferenciando a realidade da ficção. Tomamos como base a pesquisa realizada por Ostermann e Moreira entre físicos e pesquisadores em ensino de física e professores de física do Ensino Médio, que elaboraram uma lista consensual sobre quais tópicos de FMC deveriam ser abordados no Ensino Médio. Entre os temas escolhidos como mais importantes estão radioatividade, fusão e fissão nuclear, origem do universo, partículas elementares e supercondutores. Baseando-se nos trabalhos supracitados, algumas cenas de três seriados (*Dark*, *Chernobyl* e *The Big Bang Theory*) foram analisadas com caráter pedagógico e didático, a fim de promover discussões entre os discentes e sugerir formas de introduzir o conceito físico presente em cada cena, usando-a como base do conhecimento. Portanto essa monografia tem como objetivo apresentar aos alunos conteúdos extracurriculares envolvendo a física presente nas séries, conectando-os a conteúdos familiares da física presente no Ensino Médio de forma a dinamizar o ensino e motivar a aprendizagem.

Apesar de em um primeiro momento o trabalho ter sido idealizado para ser aplicado em turmas do Ensino Médio e os resultados obtidos serem expostos através dos questionários e planos de aula que seriam utilizados, devido ao momento atual de pandemia isto não foi possível, tornando a monografia uma proposta teórica. Apesar disso, o tema proposto tem uma aplicabilidade eficiente mesmo neste momento conturbado já que a maior utilização do ensino remoto leva a uma acessibilidade maior a conteúdos digitais além do consumo de séries e seriados ter aumentado com a necessidade do isolamento social.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Atualmente a tecnologia faz parte da vida de todas as pessoas, seja por meio de celulares, computadores ou televisões. Esse avanço tecnológico ocorreu em tempo hábil e alcançou todos os ambientes, incluindo as escolas. Inicialmente visto pelos docentes como algo prejudicial ao ensino, o uso de tecnologias era algo pouco incentivado até ficar perceptível que no novo mundo globalizado as informações eram mais atualizadas e rápidas que os métodos de ensino adotados pelos professores. Ficou clara a imprescindível necessidade de reformular o ensino de uma forma a incluir a tecnologia, pois, como afirma Mota (2007, p.40):

Os professores não são mais os únicos meios de acesso de transmissão de informação, embora, sua colaboração para o desenvolvimento cognitivo e a construção de novos conhecimentos acadêmicos, seja fundamental e insubstituível.

Portanto, além de superar o desafio de tornar algo visto como negativo para o ensino em positivo, o educador deve estar preparado para usar as novas tecnologias de forma a auxiliar no processo de aprendizagem do estudante.

O uso de mídias audiovisuais (filmes e séries televisivas) vem sendo uma das formas mais acessíveis e eficazes na introdução da tecnologia, pois tornam a aula mais dinâmica e agradável, levando os alunos a terem uma visão da aula não apenas como uma obrigação, mas tendo prazer em aprender. O vídeo é

Sensorial, visual, linguagem falada, linguagem musical e escrita. Linguagens que interagem superpostas, interligadas, somadas, não separadas. Daí a sua força. Nos atingem por todos os sentidos e de todas as maneiras. O vídeo nos seduz, informa, entretém, projeta em outras realidades (no imaginário) em outros tempos e espaços. O vídeo combina a comunicação sensorial- cinética, com a audiovisual, a intuição com a lógica, a emoção com a razão. Combina, mas começa pelo sensorial, pelo emocional e pelo intuitivo, para atingir posteriormente o racional. (MORAN,1995, p.28).

Portanto, não há uma mudança apenas no método de ensino, mas também na relação professor-aluno, na visão que o estudante tem da escola e como o aprendizado diário se conecta ao mundo em que vive.

2.1 Construtivismo

Apesar de ainda ser adotado em algumas escolas, a aprendizagem na qual o professor é o detentor de todo o conhecimento e transmite este para alunos considerados meros receptores, principalmente utilizando a memorização de fórmulas e textos, se tornou ultrapassada e, até mesmo, considerada ineficaz.

Jean Piaget [1896-1980], um pensador influente no campo da educação durante o século XX, acreditava que o saber não era algo que estava concluído, mas um processo em constante construção. Para Piaget (1970, p.30),

[...] os conhecimentos derivam da ação, não no sentido de meras respostas associativas, mas no sentido muito mais profundo da associação do real com as coordenações necessárias e gerais da ação. Conhecer um objeto é agir sobre ele e transformá-lo, apreendendo os mecanismos dessa transformação vinculados com as ações transformadoras. [...]

O método de aprendizagem ao qual Piaget aborda é a teoria construtivista que tem como principal característica a ideia de o aluno ser o centro da aprendizagem tendo o professor como mediador, ambos com papel de igual importância para a aprendizagem. Na visão de Piaget, a interação do estudante com o meio é um dos pontos principais na formação do indivíduo, pois

[...] o conhecimento não procede, em suas origens, nem de um sujeito consciente de si mesmo, nem dos objetos constituídos (do ponto de vista do sujeito) que se lhe impõem: resultaria de interações que se produzem a meio caminho entre sujeito e objeto, e que dependem, portanto, dos dois ao mesmo tempo, mas em virtude de uma indiferenciação completa e nas trocas entre formas distintas (PIAGET, 1990, p. 8).

Nesta conjuntura, o professor media a aprendizagem do sujeito com o conteúdo a ser aprendido através da criação de um ambiente propício para a exploração e produção de ideias. Logo, o professor tem o papel de observar os alunos para reconhecer seus conhecimentos prévios e, a partir disso, elaborar situações que o incentivem a construir seu conhecimento. Para isto, há necessidade de métodos ativos que “[...] dão especial relevo à pesquisa espontânea da criança ou do adolescente e exigindo-se que toda verdade a ser adquirida seja reinventada pelo aluno, ou pelo menos reconstruída e não simplesmente transmitida. [...]”. [PIAGET, 1998, p. 15].

Lev Semenovich Vygotsky [1896-1930], outro importante pensador

construtivista, ressaltou que a aprendizagem não era uma atividade individual, mas, sim uma atividade social tendo sua abordagem conhecida como socioconstrutivista. Diferente de Piaget que ressaltava a influência de fatores internos acima dos externos para a aprendizagem e que esta estava subordinada ao desenvolvimento, para Vygotsky, há aprendizagem em todo e qualquer processo de interação entre indivíduos além dessa influenciar o desenvolvimento de forma recíproca como elucida Bock (1999, p.144),

Vygotsky, ao estudar a aprendizagem, enfatiza e destaca a importância das relações sociais como um processo. Todas as sugestões de método e procedimento de ensino devem valorizar e incluir as relações com pares. Na aprendizagem, o contato com o outro, com o mundo já humanizado e cultural, é fator essencial. Desenvolvimento e conquista é resultado dessas interações.

Apesar de possuírem pensamentos diferentes e, até mesmo, opostos em alguns sentidos a união das ideias defendidas por Piaget e Vygotsky podem resumir que, na visão construtivista geral, a aprendizagem verdadeiramente significativa é aquela que ocorre pela interação entre o indivíduo, o objeto e outros indivíduos no âmbito escolar como é possível perceber no exemplo descrito por Becker (1994, p.92):

O professor e os alunos entram na sala de aula. O professor traz algum material – algo que, presume, tem significado para os alunos. Propõe que eles explorem este material – cuja natureza depende do destinatário: crianças de pré-escola, de primeiro grau, de segundo grau, universitários etc. Esgotada a exploração do material, o professor dirige um determinado número de perguntas, explorando, sistematicamente, diferentes aspectos problemáticos a que o material dá lugar. Pode solicitar, em seguida, que os alunos representem – desenhando, pintando, escrevendo, fazendo cartunismo, teatralizando etc. – o que elaboraram. A partir daí, discute-se a direção, a problemática, o material da(s) próxima(s) aula(s).

Este trabalho tem como base a teoria construtivista empregada no ensino de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio usando-se de séries televisivas como metodologia ativa para a construção do conhecimento.

3 METODOLOGIA

Partindo do pressuposto que o ensino de física deve promover maior contextualização e significado e que o uso de séries proporciona uma aprendizagem interdisciplinar e dinâmica, este trabalho consiste em uma proposta teórica para o ensino de Física Moderna e Contemporânea através da análise de fenômenos físicos em trechos de séries televisivas abordadas a seguir tendo como fundamento metodológico a ideia de o desenvolvimento seguir uma sequência fixa e universal de estágios de forma que o ensino ocorra em etapas definidas e análise da absorção do conteúdo pelos alunos seja feita através do debate e de perguntas propostas pelo professor.

O desenvolvimento da atividade deve se dar em quatro etapas: planejamento e preparação, apresentação e exibição, debate e reflexão, conclusão e verificação. A primeira etapa, planejamento e preparação, já foi previamente decidida, pois consiste na escolha dos trechos de séries que abordem os temas escolhidos e que despertem a atenção dos alunos. Para isso foram escolhidas séries atuais e que apresentam fenômenos físicos de grande impacto na sociedade, como a radioatividade em *Chernobyl*, que instigam o imaginário e a sede pelo desconhecido, como os buracos de minhoca em *Dark*, ou aqueles que abordam as contribuições da física para o avanço tecnológico nos dias de hoje, como o uso do grafeno retratado em *The Big Bang Theory*.

Ainda durante a primeira etapa, visando entender o conhecimento prévio dos estudantes acerca dos temas que serão abordados, o professor deve perguntar o que os alunos entendem sobre determinado assunto (“O que vem a sua cabeça quando pensa em: radioatividade, partículas elementares, fissão e fusão nuclear, origem do universo, grafeno, ...”), registrando as respostas na lousa e interligando cada uma delas ao tema central da aula. Sabendo que esses são temas poucos explorados nos livros didáticos comumente usados no Ensino Médio, não são esperadas respostas elaboradas ou completamente corretas. Este primeiro momento é voltado para compreender o conhecimento adquirido fora da escola através de informações além daquelas expostas pelo professor.

A segunda etapa consiste em apresentação e exibição. Nesta parte o professor deve informar à turma os dados sobre as séries que serão exibidas,

incluindo curiosidades e outras informações que sejam relevantes para o entendimento dos alunos. Para a exibição das cenas, devem ser usados projetor e computador ou DVD e televisão, contanto que todos os estudantes possam ter uma experiência de qualidade.

Na etapa três, “debate e reflexão”, os alunos devem ser novamente questionados sobre sua compreensão do tema, desta vez sendo desafiados a interligar conceitos já conhecidos com as novas informações adquiridas com a cena da série assistida. Neste momento, o professor deve atuar como mediador, difundindo perguntas criativas que conectem a cena escolhida com o conteúdo que pretende apresentar para a turma. O debate entre os estudantes é crucial para o desenvolvimento e fixação do novo conhecimento e o professor deve estabelecer um ambiente onde os alunos tenham a liberdade de expressar suas opiniões e observações, interferindo apenas quando necessário para facilitar a análise. Partindo do debate deve ser feita a inclusão de novos conceitos ligados ao tema físico selecionado, sempre interligando um conceito considerado mais complexo com aquele já familiar aos estudantes, de forma a facilitar o aprendizado, tornando-o contínuo e inteligível. Para o estudo sobre radioatividade, por exemplo, inserir o conceito de fissão nuclear a partir do debate sobre estrutura atômica e emissão de energia pela movimentação de elétrons na eletrosfera.

Como quarta e última etapa, a conclusão e verificação deve trazer uma síntese final na qual o professor exponha a conclusão sobre o tema abordado, ressaltando possíveis erros conceituais presentes nas cenas. Como atividade para verificar e testar os novos conhecimentos assimilados pela turma, o professor pode utilizar um questionário com perguntas conceituais sobre o tema, por exemplo, “Como o erro físico na cena poderia ser solucionado?”, além de sugerir materiais complementares, como livros e revistas que abordem o tema, outras séries e filmes, sites de pesquisa, enfim, todo tipo de atividade que possa coadjuvar o aprendizado instaurado na aula.

4 SÉRIES ANALISADAS

Conceitos de Física Moderna e Contemporânea como radioatividade, buracos negros, partículas elementares e física da matéria condensada foram escolhidos como sugestões a serem abordadas em turmas de Ensino Médio através de cenas de três séries televisivas: *Dark*, *Chernobyl* e *The Big Bang Theory*.

A análise das cenas deve ter o objetivo de explorar tanto o uso correto dos conceitos perante a física, quanto os erros físicos que possam ser encontrados e através destes construir uma base sólida para a aprendizagem dos estudantes.

4.1 Dark

Série de televisão alemã do subgênero de ficção científica chamado “Viagem no Tempo” além do “*Soft Sci-Fi*” lançada pelo serviço de *streaming* por assinatura Netflix em 1º de dezembro de 2017, *Dark* (Figura 1) foi aclamada pela crítica e por físicos devido sua abordagem detalhada e precisa de conceitos complexos de física moderna, conquistando um público amplo por inserir esses conceitos em uma trama de mistério e suspense de forma coerente e diferenciada.

Figura 1 - Foto de capa da série Dark



Fonte: Blog Valkirias

A série de ficção científica dirigida por Baran bo Odar e Jantje Friese gira em torno do desaparecimento de duas crianças na pequena cidade alemã de Widen em

2019 e quando a busca por respostas revela segredos profundos e sobrenaturais ligados a desaparecimentos ocorridos na mesma cidade em 1986, a questão principal não é mais quem sequestrou as crianças, mas quando.

4.2 Chernobyl

Retratando o acidente nuclear na cidade ucraniana de Pripjat, a minissérie de drama e suspense americana *Chernobyl*, produzida pelas empresas de televisão Sky e HBO e dirigida por Johan Henk, dividiu opiniões quanto ao realismo da dramatização do pior acidente da história nuclear civil, assim como o sensacionalismo do papel nefasto das autoridades soviéticas. Como descrito pelo jornal popular *Argumenty i Fakty*: “Mentira filmada de forma brilhante”.

Como mostrado na Figura 2, a série lançada em 10 de maio de 2019 conceitua o acidente ocorrido em 26 de abril de 1986 no reator número quatro da usina nuclear *Chernobil* que explodiu durante um teste de segurança e liberou mais radiação na atmosfera da Terra do que qualquer outro na história, causando a morte de dezenas de pessoas.

Figura 2 - Foto de capa da série *Chernobyl*.



Fonte: Site The Cinema Fix

4.3 The Big Bang Theory

Normalmente abreviada como “TBBT” (Figura 3), o seriado norte-americano de comédia de situação estreou no canal CBS em 24 de novembro de 2007 e conta a história de Sheldon, um físico teórico, e Leonard, um físico experimental, que dividem um apartamento e sabem tudo sobre física quântica, mas nada sobre a vida cotidiana ou relações humanas até a chegada da nova vizinha Penny, que muda a vida deles completamente. A história também conta com Howard, um engenheiro aeroespacial, e Raj, um astrofísico indiano, e gira em torno das situações cotidianas na vida dos quatro amigos.

Criada por Bill Prady e Chuck Lorre, com revisões e correções feitas pelo consultor físico e diretor técnico David Saltzberg, a série se tornou famosa e com críticas positivas devido sua abordagem fluida e leve de diversos conceitos físicos interessantes de forma cômica e descontraída, conectando a teoria física com situações do dia a dia

Figura 3 - Foto de capa da série The Big Bang Theory.



Fonte: O Barquinho Cultural

5 Conceitos Físicos Explorados

Nas três séries escolhidas serão abordados conceitos físicos diversos de forma a abranger áreas distintas da Física Moderna e Contemporânea como Física do Estado Sólido e Relatividade Geral. Apesar de não serem conceitos normalmente incluídos nas ementas da disciplina de Física Moderna no Ensino Médio, este trabalho propõe uma abordagem extracurricular desses conceitos como forma de ampliar o conhecimento.

5.1 Relatividade Geral

Proposta por Albert Einstein em 1915 através do artigo científico *Fundamental Ideas of the General Theory of Relativity and the Application of this Theory in Astronomy* (Ideias Fundamentais da Teoria Geral da Relatividade e as Aplicações dessa Teoria na Astronomia), a Teoria da Relatividade Geral revolucionou a compreensão da ciência do universo ao sugerir que o espaço é curvo e composto por quatro dimensões (três de espaço e uma de tempo) formando uma espécie de tecido deformado pela presença de corpos celestes massivos como planetas e estrelas, sendo essa a origem da força de gravidade. Fisicamente, a Teoria da Relatividade Geral generalizou os conceitos da Relatividade Restrita para referenciais acelerados, relacionando-os com a gravidade.

5.1.1 Ponte de Einstein-Rosen

A Teoria da Relatividade Restrita de Einstein deixou explícito que, para corpos com velocidade muito próxima à velocidade da luz, o tempo transcorre de forma diferente, o que é chamado de dilatação temporal. Vista pela comunidade científica como uma forma de “viagem no tempo”, a dilatação temporal é mais facilmente percebida em partículas elementares, como os múons, do que em corpos de massas elevadas, como os seres humanos, já que para um corpo viajar na velocidade da luz é necessária uma força que o impulsione nessa velocidade. Então, à medida que o corpo se aproximasse da velocidade da luz, considerando que o ganho de massa aumentaria infinitamente, a força também tenderia ao infinito para

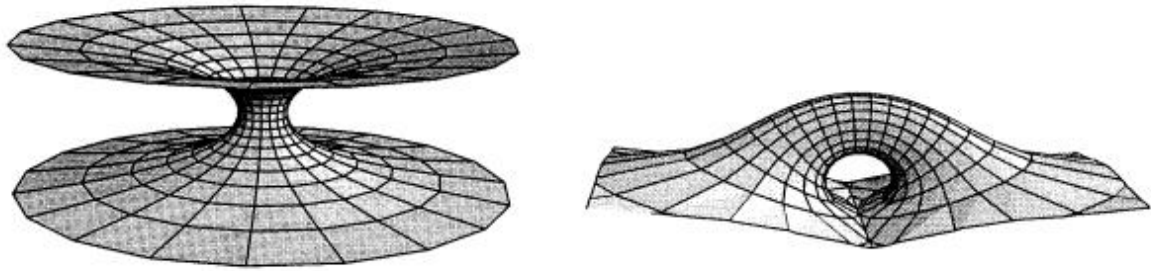
que o objeto alcançasse essa velocidade, além da energia atingir níveis extremamente elevados, o que, portanto, ainda não é possível com a tecnologia atual.

No entanto, com a publicação da Teoria da Relatividade Geral, Einstein demonstrou, teoricamente, que não apenas a velocidade poderia causar uma variação na passagem do tempo, mas também a gravidade. Generalizando as alterações do espaço-tempo, a teoria mostra que estar próximo de corpos extremamente massivos também provoca uma variação no ritmo de passagem do tempo. Esses corpos massivos são os chamados buracos negros, formados a partir do colapso de estrelas com grandes massas. Sendo apenas um estudo teórico até pouco tempo atrás, Einstein propunha que no centro dos buracos negros havia a chamada singularidade, um ponto central onde tudo se comprime a uma região de dimensão espacial nula e a densidade é infinita. Entretanto, como ressalta o físico Jim Al-Khalili (BBC,2020)

Einstein, como um bom físico, não gostava que algo pudesse ter matéria com tamanho zero. É como quando se divide algo por zero em uma calculadora e aparece uma mensagem de erro. Então, junto com o físico americano-israelense Nathan Rosen, ele publicou um artigo no qual sinalizaram que, com algumas pequenas mudanças matemáticas, essa singularidade se converteria em uma ponte que leva do centro do buraco negro a outro lugar, talvez a outro buraco negro ou até mesmo a um buraco branco.

Portanto a Ponte de Einstein-Rosen, também conhecida como 'buraco de minhoca' (Figura 4), surgiu como uma solução para a equação de campo de Einstein para a gravidade. Esses 'túneis' conectam pontos diferentes no espaço-tempo de forma que uma viagem por eles demandaria menos tempo do que uma viagem pelo espaço normal. Essa ponte seria composta por um buraco negro em uma de suas extremidades, responsável por absorver toda matéria e luz que se aproxime de seu horizonte de eventos, enquanto na outra extremidade há um buraco branco que expelle tudo pelo seu anti-horizonte. Desta forma, indo além da especulação matemática, a ponte de Einstein-Rosen supostamente seria capaz de permitir que seres humanos viajassem no tempo.

Figura 4 - Diagramas de um buraco de minhoca que ligam dois universos ou duas regiões distintas do espaço-tempo

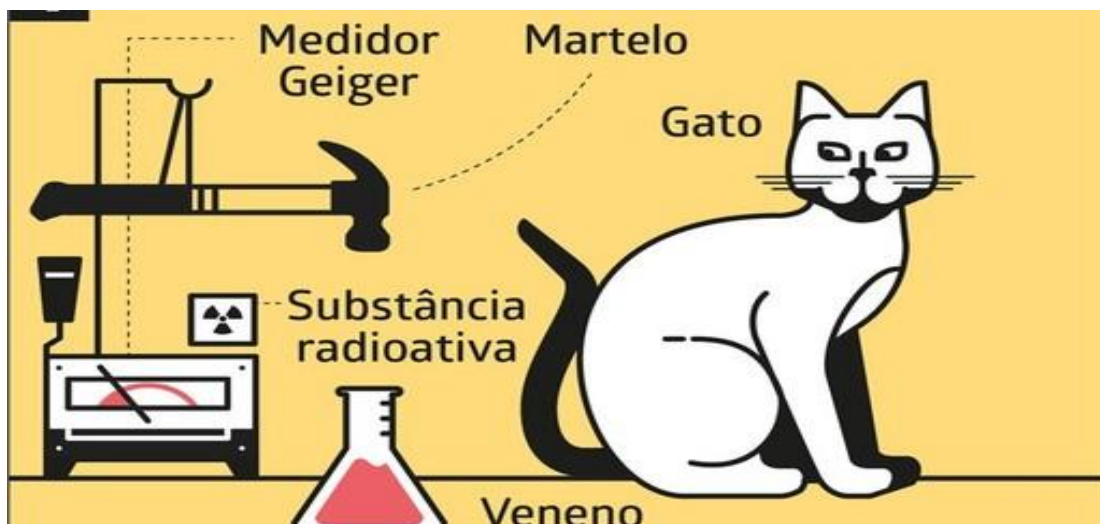


Fonte: Artigo "Wormholes": túneis no espaço-tempo. (1999).

5.1.2 Gato de Schrödinger

Idealizado por Erwin Schrödinger em 1935, é um experimento mental que busca esclarecer o conceito de superposição além de conceituar efeitos quânticos para objetos macroscópicos. Tal experimento (Figura 5) consiste em colocar, por uma hora, um gato em uma caixa de aço fechada juntamente com um aparato contendo uma substância radioativa que tem uma probabilidade de 50% de emitir radiação (decaimento do átomo) e acionar um detector que causaria a morte do gato ao liberar um veneno no ambiente. Passada a hora, não se teria certeza sobre o estado do gato até que a caixa fosse aberta, estando o gato e a substância radioativa, portanto, emaranhados ou superpostos.

Figura 5 - Ilustração do gato de Schrödinger na caixa.



Fonte: Revista Galileu

Neste caso, o estado do sistema, na visão da mecânica quântica, seria uma combinação de “emissão” e “não-emissão” e o sistema é descrito por uma função de onda onde ocorre uma superposição dos dois estados (Figura 6). Portanto, antes de abrir a caixa, o gato não estará nem vivo nem morto, mas em uma superposição desses estados até a caixa ser aberta e a função de onda propender para um deles.

Figura 6 - Superposição dos estados do gato de Schrödinger.

$$\Psi = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\text{gato vivo}\rangle + |\text{gato morto}\rangle)$$

Fonte: Artigo “O Gato de Schrödinger” (2018)

O experimento de Schrödinger mostra que apenas através da observação se tem acesso aos valores dos parâmetros de um sistema físico, mas, diferente da mecânica clássica, onde é possível prever esses valores através da simulação da evolução do sistema sem ter de entrar em contato com o sistema em si, na mecânica quântica, onde o sistema é representado por uma função de onda, é possível apenas simular a probabilidade dos parâmetros possuírem determinados valores dentro de um intervalo pré-estabelecido, ou seja, conhecer a frequência com que certos valores ocorrem no decorrer do tempo (ou espaço) e não mais ter a certeza dos valores dos parâmetros através da simulação.

Além disso, este experimento mental transfere para o sistema macroscópico o raciocínio válido para experimentos quânticos (como a superposição atômica atribuída ao gato, sendo essa uma característica de fenômenos quânticos) o que ainda gera debates e investigações por parte dos físicos que discutem até que ponto isto é aceitável.

5.1.3 Bóson de Higgs

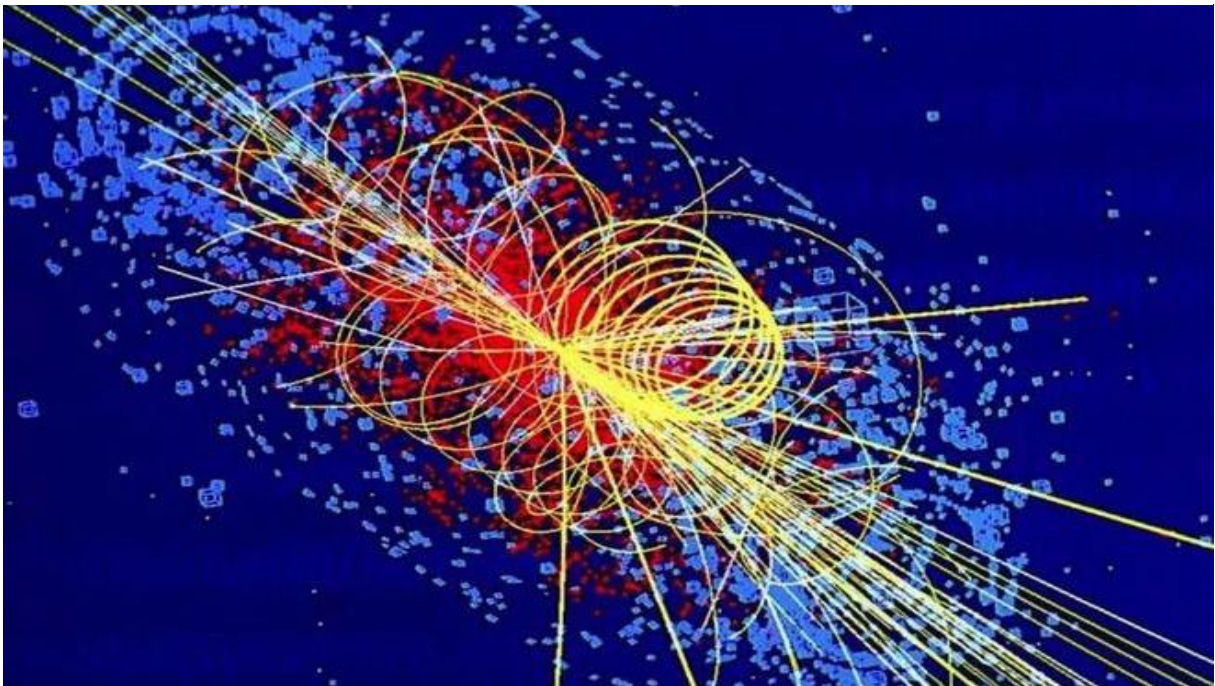
Bóson são partículas elementares associadas às forças fundamentais da natureza (força gravitacional, força eletromagnética, força forte e força fraca) e que agem como mediadoras das interações.

Apesar do conhecimento das quatro forças fundamentais da natureza, as interações fraca e eletromagnética são aceitas como ramificações da mesma força chamada eletrofraca. Desta forma, a busca pela unificação das forças passou a ter

seu trabalho voltado para três forças: gravitacional, eletrofraca e forte. Como a força gravitacional não possui formulação quântica, o foco passou a ser a unificação da força eletrofraca e forte, sendo essa a proposta do Modelo Padrão da Física de Partículas. No entanto, pela descoberta da força eletrofraca, o Modelo Padrão previa uma simetria entre fótons e bósons W e Z, partículas elementares que mediam a força fraca através da absorção e emissão de elétrons e pósitrons (bósons W^+ e W^-) ou da transferência de momentum, spin e energia quando neutrinos se espelham a partir da matéria (bóson Z). Para isso, os bósons, assim como os fótons, não teriam massa, o que se mostrou uma das maiores falhas do Modelo Padrão já que os bósons W e Z tinham massa.

Após esse conhecimento supracitado torna-se público ao âmbito científico o chamado mecanismo de Higgs, proposto na revista *Physical Review Letters* pelos físicos Peter Higgs e François Englert em 1960, que explicava a presença de massa nas partículas W e Z através da quebra espontânea de simetria. É através do mecanismo de Higgs que todas as partículas elementares ganham sua massa além deste prever a existência de uma nova partícula, o bóson de Higgs.

Figura 7 - Imagem de um evento simulado no detector de CMS (Solenóide de Múon Compacto) em que aparece o bóson de Higgs.



Fonte: Lucas Taylor/CMS. O LHC acelera feixes de prótons a velocidades próximas à da luz e a colisão entre esses feixes provoca um jorro de partículas com trajetórias distintas. A energia liberada provoca a emergência de novas partículas. As trajetórias peculiares na imagem levaram à conexão com o decaimento do bóson de Higgs.

Na Mecânica Quântica, toda partícula elementar está ligada a um campo. O Modelo Padrão pressupõe que todo o universo está imerso em um campo homogêneo denominado “campo de Higgs” e quando este recebe energia suficiente ele se excita, o que cria uma partícula, o bóson de Higgs. Quando esse bóson interage com outras partículas elementares como elétrons, por exemplo, ele transfere energia em forma de massa. Desta forma o campo de Higgs determina a quantidade de massa da partícula elementar, dependendo da intensidade de interação entre o bóson de Higgs e esta partícula. Seria por este motivo que o elétron é mais pesado que o múon, por exemplo.

Portanto, o bóson de Higgs, também conhecido como “Partícula de Deus” devido o livro escrito por Lederman em 1993, intitulado *The God Particle: If the Universe is the Answer What is the Question?* (A partícula-Deus: se o Universo é a resposta, qual é a pergunta?), surgiu como uma proposta para validar o Modelo Padrão, sendo o responsável pela origem da massa de todas as partículas elementares. Apesar de sua importância para a Física de Partículas, o bóson de Higgs era apenas uma proposta teórica (Figura 7) até ser anunciado pelo LHC (*Large Hadron Collider – Grande Colisor de Hádrons*) em 2012 o que rendeu o prêmio Nobel de Física em 2013 para François Englert e Peter Higgs.

5.2 Física Nuclear: Radioatividade

Os estudos sobre radioatividade tiveram início com a descoberta dos raios X por Röntgen, referência que levou pesquisadores do mundo todo a tentarem obter esses raios através de experimentações com diversas substâncias. Tomando como base os estudos de Röntgen, o físico francês Antoine H. Becquerel passou a investigar se substâncias fluorescentes e fosforescentes emitiam raios X. Ele observou que grãos de sais de urânio emitiam luminescência no escuro sem serem submetidos a descargas elétricas ou qualquer fonte de tensão. Inicialmente atribuiu isso a raios X devido ao aquecimento quando os sais eram expostos ao sol, gerando manchas no papel fluorescente (chapa fotográfica) que os envolviam. No entanto, quando os sais de urânio foram mantidos em um ambiente desprovido de luz solar, manchas mais intensas e brilhantes surgiram na chapa fotográfica. Ele repetiu o

experimento com outras amostras de urânio e registrou o mesmo resultado, provando que essa substância emitia uma radiação espontaneamente.

Essa radiação, inicialmente conhecida como raios de Becquerel, foi chamada de radioatividade quando o casal de físicos Marie e Pierre Curie aprofundaram a pesquisa de Becquerel e descobriram outras substâncias que emitiam a mesma radiação ou até mais intensa do que aquela encontrada no urânio como o polônio, o tório e o rádio. A partir disso, diversos físicos e pesquisadores passaram ter o foco em elucidar as propriedades da radioatividade e dos elementos radioativos.

A descoberta das partículas alfa e beta foram um marco para os estudos da radioatividade já que a emissão dessas é o que estabiliza o núcleo quando há um excesso de energia. Essa emissão causa uma transformação no elemento radioativo, alterando o comportamento químico deste, o que ficou conhecido como decaimento radioativo por gerar uma diminuição gradual de massa e atividade da substância. Experimentos com partículas alfa levaram à descoberta dos nêutrons, partículas sem carga que seriam a combinação do elétron e do próton, e, através do descobrimento dessas partículas, surgiu o modelo de estrutura atômica que explicava a questão da estabilidade nuclear ao admitir que a forte repulsão eletrostática entre prótons no núcleo era compensada por forças de origem nuclear que mantinham a estabilidade, forças essas que conhecemos atualmente como força fraca e força forte.

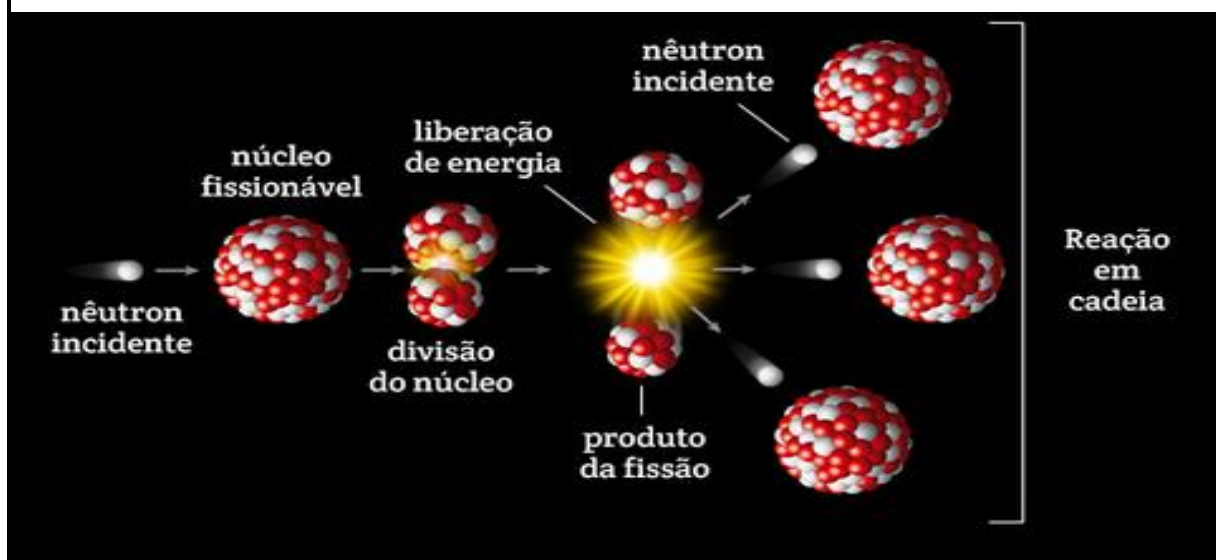
Portanto a compreensão desse modelo levou à compreensão da origem da radioatividade pois, constatou-se que a emissão de partícula e radiação de determinado elemento era causada pela desintegração nuclear, mostrando que a radioatividade é um processo nuclear de liberação de energia. Em 1938 esse processo de liberação de energia foi nomeado de fissão nuclear (Figura 8) quando os experimentos de Enrico Fermi, Otto Hahn e Fritz Stassmann com urânio sendo bombardeado por nêutrons com velocidade moderada foi explicado pela física austríaca Lise Meitner, e por seu sobrinho, o físico Otto R. Frisch (Sime, R. L; 1993, 66, 373) : “O núcleo do átomo de urânio é instável e, ao ser bombardeado com nêutrons moderados, rompe-se praticamente ao meio, originando dois núcleos de massa média e liberando 2 ou 3 nêutrons, além de mais energia”.

A descoberta da fissão nuclear e, conseqüentemente, da energia nuclear, revolucionou a época principalmente por ter ocorrido durante a Segunda Guerra Mundial, levando a corrida armamentista a outro patamar com o surgimento das

indústrias nucleares, responsáveis pela criação das bombas atômicas, armas com um poder de destruição elevado e que atuam em milissegundos. Era chegada a Era Nuclear.

Apesar dos diversos benefícios trazidos pela descoberta da radioatividade, o mau uso dela durante períodos conturbados da história levou a malefícios que causaram marcas de destruição que repercutem até os dias atuais como a destruição de Hiroshima e Nagasaki e o acidente em Chernobyl.

Figura 8 - Esquema do processo de fissão nuclear.

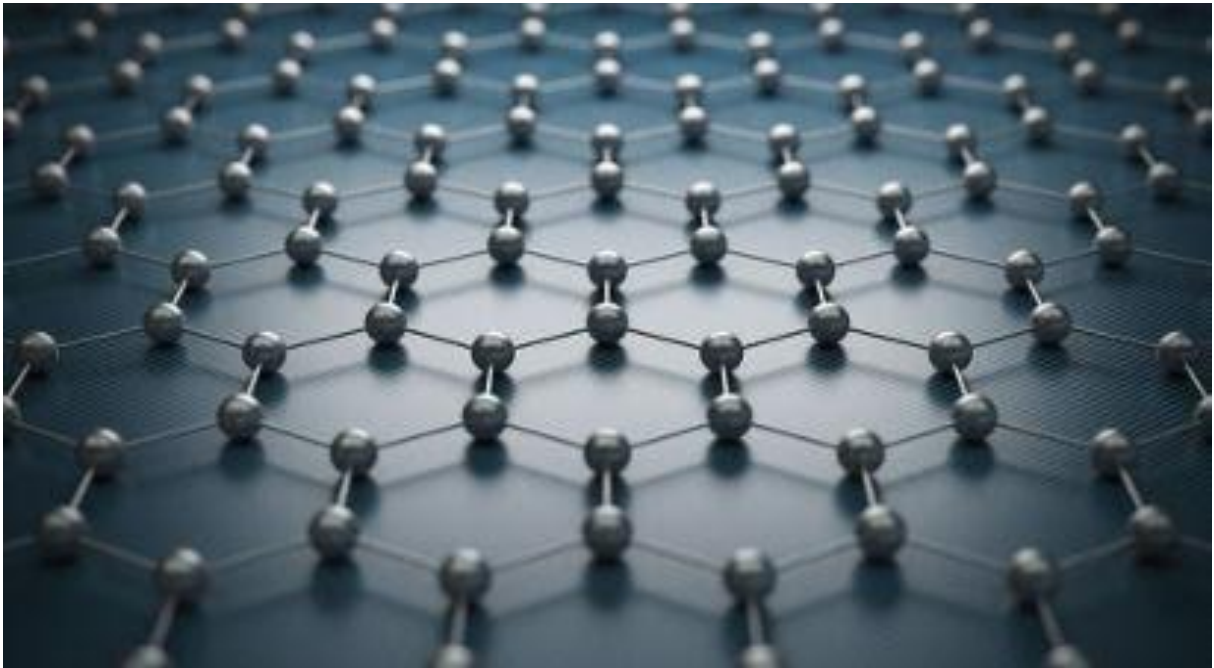


Fonte: Site Toda Matéria. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/fissao-nuclear/>. Acesso em 22 mar. 2021.

5.3 Grafeno e a Física Contemporânea

Discutido teoricamente por Pauling em 1939 e comprovado cientificamente através do artigo *Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Filmes* (Efeito do Campo Elétrico em Filmes de Carbono Anatomicamente Finos) publicado na revista *Science* em 2004 por um grupo da Universidade de Manchester na Inglaterra, liderado pelo físico Andre Geim, o grafeno é um cristal bidimensional formado por ligações entre os átomos de carbono. Derivado do grafite e sendo a lâmina mais fina que pode ser obtida a partir desse material, o grafeno é estruturado em um padrão hexagonal, como uma colmeia de abelha (Figura 9), e possui a altura de um átomo além de que foi o primeiro material bidimensional a ser obtido experimentalmente.

Figura 9 - Estrutura atômica do grafeno.



Fonte: Site *SingularityHub*. Disponível em: <https://singularityhub.com/2018/08/05/beyond-graphene-the-promise-of-2d-materials/>. Acesso em 21 mar. 2021.

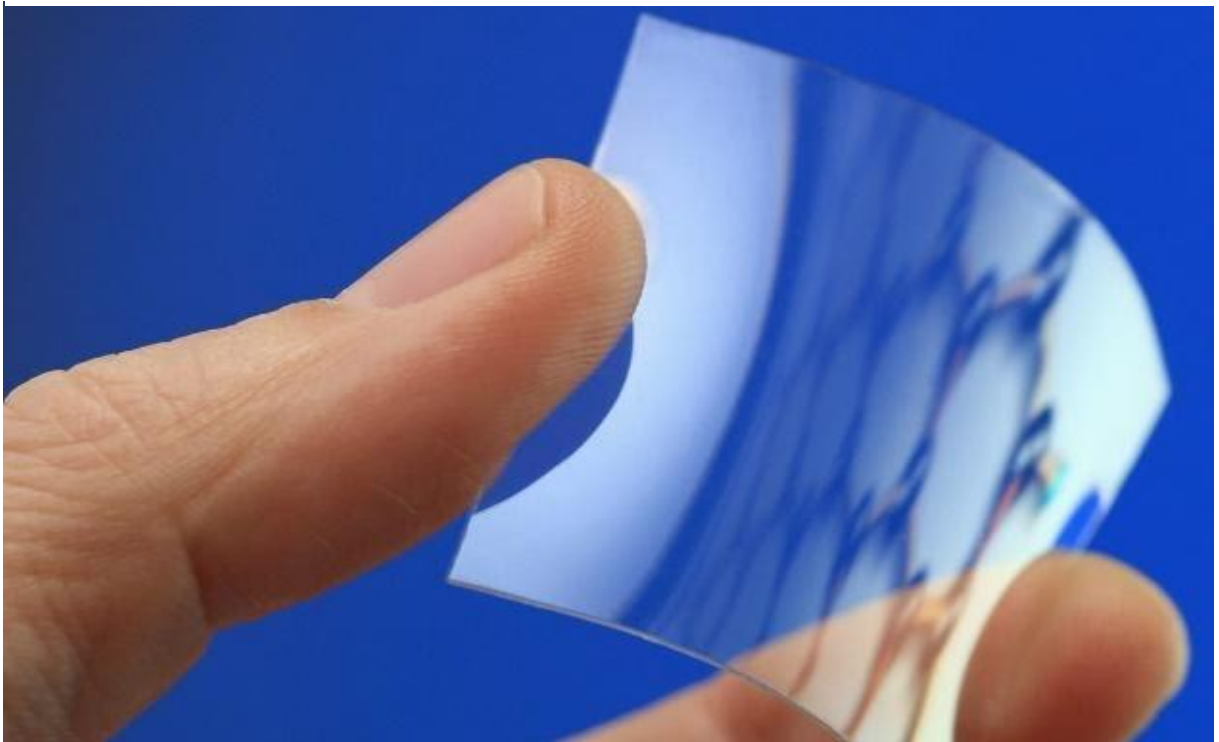
A descoberta deste cristal revolucionou a tecnologia devido suas propriedades únicas. Assumindo a forma de uma lâmina transparente pois, absorve apenas 2,3% da luz, o grafeno é um material flexível, mas extremamente resistente. Para causar uma deformação em uma folha de grafeno (Figura 10) seria necessária uma força dez vezes maior do que aquela necessária para causar a mesma deformação em uma folha de aço com a mesma espessura, por exemplo. Além disso é um excelente impermeável capaz de impedir até mesmo a passagem do hélio, um gás extremamente leve, e possui uma densidade extremamente baixa sendo até mil vezes mais leve que uma folha de papel.

Entretanto uma das propriedades mais apreciadas do grafeno e a responsável pelo interesse de cientistas e empresários em torná-lo o “material do futuro” é sua alta condutividade térmica e elétrica que supera até mesmo a do cobre e do silício. Isto é possível pois, diferente de outros materiais condutores onde o elétron transporta energia possuindo uma massa específica, os elétrons no grafeno comportam-se como se não tivessem massa, diferenciando-se dos fótons nesse ponto apenas por se deslocarem em uma velocidade 300 vezes menor que a da luz. Essa característica peculiar do grafeno auxilia no estudo de efeitos relativísticos que normalmente só se manifestam em velocidades próximas à da luz. Além disso, por ter um menor efeito Joule, utilizar esse material em equipamentos eletrônicos

solucionaria o problema de aquecimento devido a corrente elétrica na miniaturização de microprocessadores o que permitiria criar computadores e celulares cada vez menores sem perder sua eficiência.

Sendo um material barato por ter matéria prima em abundância, o grafeno possui uma aplicabilidade vasta que abrange da indústria aeroespacial, naval, automotiva e civil até a biomedicina, telecomunicação e energia.

Figura 10 - Placa de grafeno



Fonte: Site pplware. Disponível em <https://pplware.sapo.pt/informacao/grafeno-e-capaz-de-gerar-energia-electrica/>. Acesso em 21 mar. 2021.

6 CENAS ANALISADAS

Apesar da diversidade de séries de televisão que abrangem a física e suas aplicações, aquelas escolhidas para serem apresentadas nessa monografia têm o diferencial de serem contemporâneas à criação desse trabalho e as cenas propostas abordam os conceitos físicos explorados de forma direta, além de conectarem-nos a gêneros cinematográficos que despertam a atenção como suspense, ação e comédia.

6.1 *Dark*: Ponte de Einstein-Rosen

Episódio 8, temporada 1 (“Você colhe o que planta”). 3min55s – 6min25s

Figura 11 - Imagem de trecho do episódio 8, temporada 1 de *Dark*.



Fonte: Netflix

Apesar de diversos trechos da série abordarem a questão de viagem no tempo e buracos de minhoca, já que este é um dos pontos mais relevantes na trama, a cena escolhida do episódio oito da primeira temporada exibe uma descrição detalhada e direta do que é a ponte de Einstein-Rosen. O trecho acontece no início do episódio e retrata uma conversa entre o “Estranho” (Figura 11) e H. G. Tannhaus,

um relojoeiro e escritor que possui amplo conhecimento em física moderna, no ano de 1986. Durante a conversa Tannhaus define a ponte de Einstein-Rosen como “uma passagem entre o buraco negro, a entrada, e o buraco branco, a saída, que une o tempo e o espaço. Quem passa por ela, viaja no tempo.”

Alternada à cena da conversa é mostrado Ulrich, um policial que está investigando o desaparecimento de seu filho mais novo, explorando a caverna onde seu filho Mykael foi visto pela última vez, em 2019. No fim da caverna Ulrich encontra uma porta e ao atravessá-la se vê em uma caverna idêntica à que acabara de sair, porém em um ano completamente diferente: 1953.

Dessa maneira, esse é um dos episódios mais didáticos e reveladores da série, por trazer explicações teóricas diretas para o mistério da caverna, além de fechar os ciclos iniciados nos primeiros episódios, tomando como a base a ideia de que o tempo é cíclico, não uma linha reta.

Além de abordar a teoria aceita sobre a ponte de Einstein-Rosen, Tannhaus aprofunda sua explicação e vai além ao admitir que o buraco de minhoca não conectaria apenas dois pontos, mas três. Para o personagem “Einstein e Rosen se esqueceram de algo. O buraco de minhoca não conecta apenas duas, mas três dimensões.”

A série é uma das que melhor apresenta a ideia do buraco de minhoca comparada a outras produções já que têm uma base firme nas teorias de Einstein e Rosen, ainda que se valha de alguns exageros para torna a trama mais interessante.

Um dos pontos fora da teoria aceita é a criação da ponte de Einstein-Rosen na série. A teoria cientificamente aceita, tomando como base o trabalho de Gregorio-Hetem e Jatenco-Pereira (2010), é a de que buracos negros e, por consequência, buracos de minhoca, surgem a partir da morte de estrelas de grande massa quando estas chegam a um ponto da evolução estelar onde não possuem mais energia suficiente para vencer a força gravitacional e implodem. No entanto, o buraco de minhoca da série surge a partir da explosão de energia ocorrida na usina nuclear construída acima da caverna. Não há estudos que comprovem a veracidade de tal teoria implementada na série, já que esses fenômenos envolvem “mundos” (macroscópico e microscópico) diferentes que ainda não são unificados. No entanto dois pontos contrários a essa ideia podem ser ressaltados. Primeiro, as reações que ocorrem em estrelas provêm do processo de fusão nuclear, que libera uma quantidade de energia muito maior do que o processo de fissão nuclear, aquele

responsável pela energia gerada em usinas nucleares. Segundo, supondo que o método de criação do buraco de minhoca da série fosse possível, a elevada densidade e campo gravitacional do buraco negro criado sugaria toda matéria e luz ao redor, incluindo a cidade de Winden e seus habitantes.

Além dos pontos questionáveis acerca da criação do buraco de minhoca, equívocos em relação às características do próprio buraco de minhoca podem ser ressaltados como o fato dos personagens poderem viajar em qualquer sentido, para qualquer um dos três anos presentes na série. No entanto, fora do mundo ficcional, a fronteira do buraco negro, chamada de horizonte de eventos, funciona como uma membrana em um só sentido onde os objetos entram e não podem mais sair. Em contrapartida o buraco branco possuiria um anti-horizonte instável devido pequenas perturbações, onde os objetos saem e não podem mais entrar. Essa instabilidade pode converter o anti-horizonte em horizonte por um curto período que ocorre apenas durante a criação do anti-horizonte, impedindo assim uma travessia nos dois sentidos. Na verdade, aprofundando-se na parte mais trágica da teoria, uma pessoa não seria capaz de atravessar um buraco de minhoca mesmo em um sentido. Pela teoria do buraco negro de Schwarzschild, à mera aproximação do horizonte de eventos, a pessoa estaria sujeita às forças de maré que esmagariam o viajante devido às elevadas acelerações, comprimindo-o na direção transversal e esticando-o na direção longitudinal, consequência essa que ficou conhecida como “espaguetificação”, termo primeiramente usado por Nigel Calder em seu livro *A Chave para o Universo* (1977) assim como por Stephen Hawking no livro *Uma Breve História do Tempo* (1988).

Entretanto, pelas características da ponte de Einstein-Rosen da série, imagina-se que a base para a ideia se deu a partir da teoria de Einstein para um “buraco de minhoca transitável”. As equações que regem esse objeto hipotético foram solucionadas por Kip Thorne e Michael Morris em 1986 e provavam que, para que uma ponte de Einstein-Rosen transitável e estável fosse ‘construída’ seria necessário a criação de um novo tipo de matéria com características específicas como uma densidade de energia negativa, um conceito estranho, mas previsto matematicamente. Apesar de ser uma explicação plausível para a existência da ponte de Einstein-Rosen da série, a matéria capaz de estabilizar um buraco negro, chamada matéria exótica, não é a mesma usada pelos personagens para viajar no

tempo já que esta é produto de um acidente nuclear e possui propriedades conhecidas, diferente da matéria exótica.

Quanto à ideia da terceira dimensão e de que a ponte de Einstein-Rosen faria a união entre passado, presente e futuro, Nikodem Poplawski, da Universidade de Indiana, nos Estados Unidos, em seu artigo *Radial motion into an Einstein-Rosen bridge* traz à tona a teoria de que nosso universo estaria situado no meio de uma ponte de Einstein-Rosen, estando, portanto, entre dois outros universos, a ponte conectando três dimensões distintas. De acordo com Nikodem (2010) o problema da expansão do universo, apesar da força gravitacional e da unificação das forças, seria resolvido se nosso universo for uma consequência da explosão de uma estrela gigante em outro universo muito maior e mais antigo que criou uma ponte para outro universo. Dessa forma, se nosso universo surgiu no meio dessa ponte, a gravidade remeteria a um tempo muito antes do *Big Bang* o que permitiria sua unificação com as outras forças e a resposta para a expansão do universo seria simples: nosso universo estaria “vazando” pelo buraco de minhoca, atraído por outro universo. Além disso Poplawski (2010) ressalta que um buraco branco é, hipoteticamente, uma reversão no tempo de um buraco negro e afirma que:

Como a teoria geral da relatividade de Einstein não escolhe uma orientação para o tempo, se um buraco negro pode se formar a partir do colapso gravitacional de matéria através de um horizonte de eventos no futuro, então o processo inverso também é possível. Um processo assim poderia descrever um buraco branco explodindo: a matéria emergindo de um horizonte de eventos no passado, exatamente como o Universo em expansão.

Desta forma a ideia de que a ponte de Einstein-Rosen conecte três dimensões é apenas tão hipotética quanto a ideia de haver uma ponte de Einstein-Rosen em si já que, se elas existirem, são tão instáveis que aparecem e somem rapidamente pelo universo.

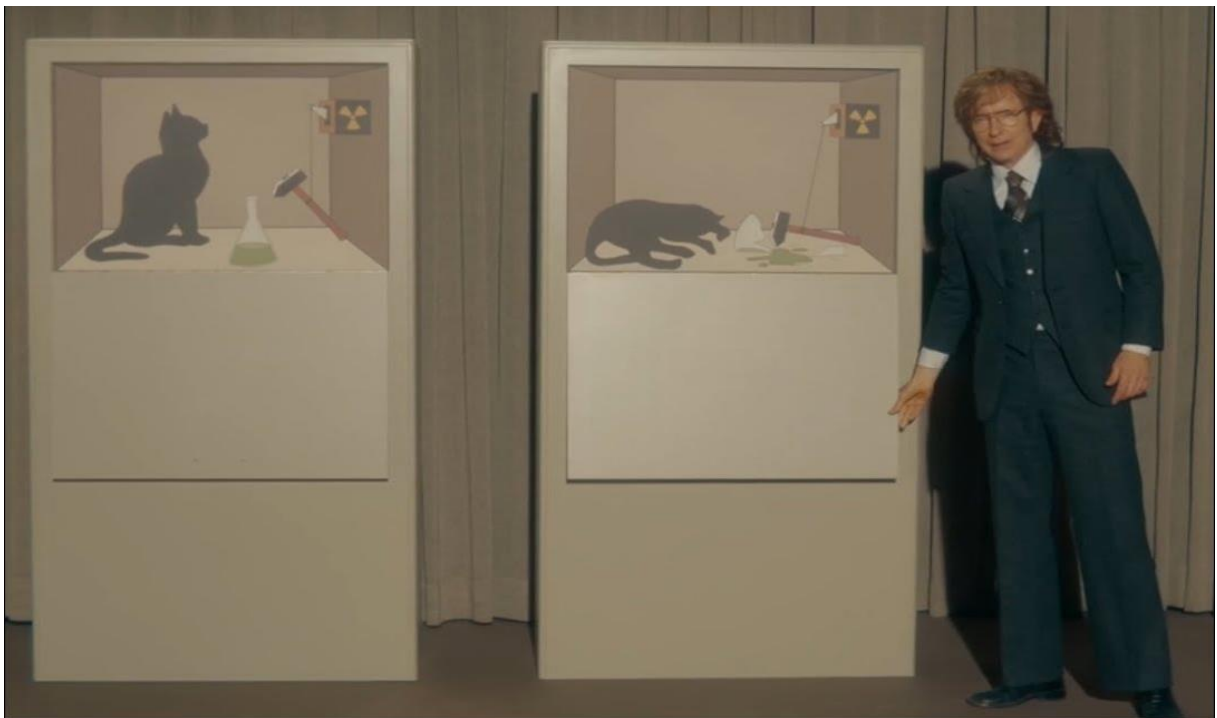
Portanto, as explicações teóricas e práticas na cena em conjunto com a explanação acerca dos erros físicos presentes e das suposições científicas constituem uma base sólida para instigar os estudantes a construir o conhecimento. Os questionamentos iniciais acerca do que os alunos entendem por “buraco negro” e “buraco de minhoca” instigam a curiosidade sobre o tema a ser tratado já que as dúvidas sobre a imensidão do espaço e seus mistérios ainda é um tópico que desperta o interesse em crianças e adolescentes. Desta forma a análise do vídeo através do debate entre os alunos deve conectar os conhecimentos mais

básicos sobre o assunto, como a ideia de que o buraco negro é um ponto escuro e poderoso no espaço, com aqueles mais complexos, como a ideia da matéria exótica, agindo o professor como mediador dessa conexão. Ao final é importante que o professor ressalte que, apesar dos diversos obstáculos para que um humano possa viajar no tempo através da ponte de Einstein-Rosen, a existência desses objetos cósmicos não é impossível, apenas improvável de ser detectada por nós.

6.2 *Dark*: Gato de *Schrödinger*

Episódio 7, temporada 3. “Entretempo”. 0min00s – 3min50s.

Figura 12 - Imagem de trecho do episódio 7, temporada 3 de *Dark*.



Fonte: Netflix

Uma das teorias físicas exploradas da forma mais correta e plausível em *Dark* é a do gato de Schrödinger. A cena proposta traz, logo nos primeiros minutos do episódio, H. G. Tannhaus questionando “O que é realidade? E existe apenas uma? Ou várias realidades coexistem?” e, a partir disso, explicando detalhadamente o experimento mental de Erwin Schrödinger sobre a superposição de estados. Paralelo a explanação de Tannhaus é mostrada a personagem Martha vinda de outro universo para resgatar Jonas da explosão nuclear iminente ao mesmo tempo

que a cena é dividida em duas, a segunda retratando a mesma Martha sendo impedida por Bartosz de resgatar Jonas. A cena é permeada pelas perguntas de Tannhaus: “Seria possível dividir o tempo e deixá-lo correr em duas direções diferentes? Quantas realidades diferentes poderiam existir lado a lado?”.

Apesar da explicação didática dada pelo personagem sobre o gato de Schrödinger (Figura 12), é indicado que o professor a explique com certa cautela ao apresentá-la para os alunos do ensino médio já que, mesmo a ideia de realidade paralela sendo assunto comum de filmes e séries de ficção científica, a teoria de Schrödinger em si não é tão difundida e acessível na mídia atual como a teoria dos buracos de minhoca, por exemplo, sendo, portanto, um assunto relativamente novo na percepção dos estudantes. Supõe-se que os conhecimentos prévios dos alunos acerca da teoria em si seriam mínimos ou inexistente. Portanto, far-se-á necessário que, inicialmente, o professor questione-os sobre o que eles entendem por realidade e universos alternativos e, partir disto, averiguar se alguns deles têm conhecimento da teoria sobre o gato de Schrödinger, usando então a cena como explicação e aprofundamento, mas alertando aos alunos que Schrödinger, ao propor sua teoria, não a relacionou a realidades paralelas, apenas ao mundo quântico.

Em *Dark* a teoria do gato de Schrödinger é usada para explicar a existência do Jonas mais velho (conhecido inicialmente na série como Adam) apesar da morte do Jonas mais novo em episódios anteriores. A cena analisada traz essa explicação: na realidade em que Martha resgata Jonas esse é morto algum tempo depois pelas mãos da versão mais velha da garota, no entanto na realidade em que Martha é impedida de resgatar Jonas este consegue se abrigar no sótão e sobrevive a explosão. Portanto duas versões da mesma pessoa coexistem em realidades diferentes.

A cena faz uso da ideia de estados sobrepostos relacionando-a ao pensamento de que momentos específicos em realidades distintas com características supostamente semelhantes tem a probabilidade de ocorrerem de formas opostas dependendo do instante em que são observados e, até serem observados, eles permanecem em um estado intermediário, ou seja, eles coexistem. Assemelhando-se ao experimento de Schrödinger que sobrepõe dois estados (gato vivo e gato morto), a série apresenta duas realidades sobrepostas mesmo que a teoria física permita a existência de mais do que apenas dois estados sobrepostos já que na Mecânica Quântica, onde esta teoria tem sua base, conhecemos apenas a

probabilidade de um fenômeno (ou parâmetro) se encontrar em determinado estado em um intervalo de tempo premeditado, mas não a trajetória deste fenômeno, ou seja, os estados que ele pode assumir no decorrer do tempo o que, portanto, não invalida a existência de infinitos estados. Partindo disto, o professor pode se valer da curiosidade dos estudantes abordando sobre a possibilidade de infinitas realidades paralelas, conectando isso a outras obras de ficção científica se necessário para dinamizar o debate, além de se aprofundar em conceitos mais complexos da Física como o Princípio da Incerteza de Heisenberg, focando na definição mais simples e em uma explicação superficial e contextualizada para facilitar a compreensão dos alunos, o experimento da dupla fenda e as diferenças entre a Mecânica Clássica e a Mecânica Quântica acerca do comportamento de parâmetros em um sistema.

Apesar de apresentar uma explicação clara e coesa sobre um conceito abstrato e complexo da física quântica, a teoria de Schrödinger ainda deixa um questionamento sem resposta precisa, questionamento este feito pelo próprio Tannhaus na série: “Mas e se a existência simultânea de vida e morte também se aplicasse ao mundo do macrocosmo?”. Ao submeter o gato, um objeto macroscópico, a um fenômeno que envolve, até onde sabemos, apenas corpos quânticos, Schrödinger abalou o meio científico, levando físicos e filósofos a procurarem soluções para as questões sobre as interações entre o mundo microscópico e macroscópico em busca de uma “lei” que pudesse unificá-los, ao mesmo tempo que deixou um caminho livre para o universo da ficção científica conectar fenômenos do mundo quântico a situações do mundo do macrocosmo de forma crível e, a até certo ponto, aceitável.

6.3 Dark: Bóson de Higgs

Episódio 2, temporada 2. “Matéria Escura”. 0min00s – 2min30s.

Diferente do conceito anterior abordado de forma precisa na série, a cena escolhida para explicar o Bóson de Higgs deve ser analisada com foco em seus erros físicos ou, em algumas partes, equívocos provavelmente causados pelas incertezas que permeiam o conceito científico da partícula. O trecho que ocorre no início do episódio traz Claudia Tiedemann, diretora da Usina Nuclear de Winden e uma das primeiras viajantes no tempo da série, narrando em fitas suas descobertas

sobre a partícula criada a partir do acidente ocorrido em 2019 e que dizimou boa parte da população de Winden que supostamente é o que chamamos de bóson de Higgs, reconhecido na série pelo seu “apelido” mais famoso: partícula de Deus. Durante a narrativa de Claudia, é mostrado que Jonas (jovem) está ouvindo as fitas no subsolo da usina nuclear abandonada em 2052 (Figura 13) onde se encontra a “partícula”, uma massa preta disforme e instável, carregada de energia.

Figura 13 - Imagem de trecho do episódio 2, temporada 2 de *Dark*.



Fonte: Netflix

Nas fitas, Claudia afirma que o sucesso em estabilizar a partícula de Deus e sua massa resultou na criação de um portal que pode viabilizar a viagem no tempo. Ela ainda ressalta: “Se a matéria receber voltagem suficiente, ela pode ser mantida em estado estável a longo prazo” o que, em fase experimental, possibilitaria o envio de objetos pela matéria estável.

Apesar do apelo dramático e das explicações que parecem ter uma base firme nas teorias científicas, seja pelas palavras mais rebuscadas usadas ou pela forma coerente e organizada que é exposta, a partícula de Deus citada na série possui características que não se assemelham com a teoria do bóson de Higgs aceita cientificamente. Comparada à explicação dada na série, o bóson de Higgs possui uma definição simples: partícula elementar existente a partir do campo de Higgs que age como mediadora da força responsável pelo surgimento das massas

de todas as partículas elementares, conhecida como interação de Higgs. Visando facilitar a compreensão, o professor poder abordar o assunto fazendo uso de analogias simples como, por exemplo, comparar o campo de Higgs ao oceano onde tudo está imerso sendo a partícula de Higgs como uma onda bem definida nesse oceano. Para que esta partícula seja identificada seria necessário “balançar” esse oceano para gerar a onda e, nesse ponto, seria introduzido o conceito do acelerador de partículas e como ele promove esse surgimento. Outro ponto interessante a se abordar seria o porquê de o bóson ser conhecido como “partícula de Deus”, o que remete à analogia feita por Leon Lederman entre o bóson, capaz de “dar” diferentes massas a diferentes partículas elementares, e a história bíblica da Torre de Babel, onde houve uma divisão do povo quando as línguas foram diferenciadas e confundidas.

Tendo a série de televisão um viés filosófico e, até certo ponto, religioso, incluir a “partícula de Deus” seria algo inevitável, embora não ter se valido de uma abordagem precisa. Como pode ser visto na cena proposta, a partícula é um emaranhado de energia visível a olho nu, enquanto cientificamente o bóson, por ser uma partícula elementar, tem dimensões muito menores que um átomo sendo, portanto, de difícil percepção. Tanto que sua detecção através do acelerador de partículas LHC em 2012 (artigo *Higgs Boson Makes Its Debut After Decades-Long Search* da revista *Science*), apesar de ter fortes evidências, ainda é dita como “suposta” devido sua aparição momentânea e desaparecimento rápido. No entanto, uma teoria da série que se mostra plausível é a de que a massa da partícula seria tão elevada que necessitaria ser estabilizada. Isto concorda com as descobertas feitas pelos cientistas do LHC onde a massa encontrada para o bóson de Higgs seria em torno de 25 a 26 bilhões de elétron-volts, 130 vezes a massa do átomo de hidrogênio, estando de acordo com a teoria científica já que desde 1980 acreditava-se que os efeitos quânticos fariam a partícula de Higgs ser milhões ou até bilhões de vezes mais massiva, adequando-se perfeitamente ao “buraco” que existia no Modelo Padrão. No entanto, apesar da massa ser elevada para os padrões atômicos e subatômicos, o que o leva a ser instável já que decai rapidamente em partículas mais leves, o bóson não chegaria ao ponto de ser visível de forma tão clara como mostrado na série.

Na cena temos uma fala intrigante de Claudia: “Mesmo após observação prolongada, é impossível dizer de que fonte de energia a matéria instável se

alimenta. As medições indicam que não há qualquer forma de emissão de energia.”. Isto demonstra, assim como o próprio título do episódio, que a série uniu erroneamente duas teorias físicas: O bóson de Higgs e a matéria escura. Um equívoco que é relevado quando se aplica a ficção, mas que já foi refutado cientificamente. Apesar dos cientistas suporem que a origem tanto do bóson de Higgs quanto da matéria escura remetem aos primórdios do universo, as semelhanças permanecem apenas nisto. Enquanto o bóson seria o responsável pelo surgimento da massa de todas as partículas elementares que não possuíam massa na formação do universo, a matéria escura seria composta por partículas desconhecidas que interagem gravitacionalmente com os corpos e não sofrem os efeitos do eletromagnetismo. Mesmo com todas as incertezas que cercam a descoberta, a partícula de Higgs possui características conhecidas, diferente da matéria escura que, apesar de compor 25% do universo (mais do que a matéria conhecida que compõe apenas 5%), ainda é um mistério.

O pouco que se sabe sobre a matéria escura é suficiente para instigar a curiosidade, principalmente em sala de aula. É possível para o professor explorar os estudos feitos a partir de 1930, quando Fritz Zwicky, com seu artigo *On the Red Shift of Spectral Lines through Interstellar Space* (Na mudança para o vermelho das linhas espectrais no espaço interestelar) publicado em 1929, percebeu que a quantidade de massa no universo era maior do que a da matéria observada por meio de todas as formas de luz, visíveis ou não, o que resultaria em uma matéria desconhecida que não emitia luz e só era detectada por ação gravitacional, seguindo até as descobertas dos dias atuais. Tomando como base a fala de Claudia que diz: “O nível de radiação da matéria está acima do normal. No entanto, não foram observados fenômenos de degradação.”, o professor pode explicar como isso se conecta à matéria escura que permeia o Universo onde os níveis de radiação são notoriamente mais elevados e como, apesar disso, a matéria não tende a diminuir. Portanto, através das explicações, o restante da fala da personagem na cena sobre a matéria existir nos três estados ao mesmo tempo e ser autossustentável mostram claramente o viés fictício da teoria, se afastando das comprovações científicas reais para promover o deslumbramento que é esperado neste tipo de entretenimento, mais um ponto que o professor pode usar para alertar os alunos que, apesar da certeza com que a física é mostrada nas séries, a necessidade de criar uma trama que envolva o público é maior que a de mostrar a física verdadeira.

Portanto, partindo das comparações com a série, ressaltando os erros e acertos, seria possível ao professor ampliar o debate fazendo uso de teorias recentes sobre o bóson de Higgs e a matéria escura como, por exemplo, a entrevista de Sean Carroll, um físico especializado em energia escura e Relatividade Geral, para a CNN que fala sobre uma possível conexão entre o bóson de Higgs e a matéria escura. Carroll (2012, tradução nossa) afirma,

Vários experimentos estão em andamento para procurar as partículas de matéria escura que pensamos estar ao nosso redor. Além de serem "escuras", essas partículas dificilmente interagem com a matéria comum. É possível, até provável, que milhões deles passem por seu corpo a cada segundo. É como uma cidade com duas populações, cada uma falando um idioma diferente, sem tradutores ou intérpretes bilíngues. Os dois grupos de pessoas vivem suas vidas separadas, nunca falando diretamente um com o outro. Da mesma forma, em nossa galáxia, a matéria escura e a matéria comum passam uma pela outra o tempo todo. O bóson de Higgs pode ser a partícula bilíngüe que estamos procurando. Não sabemos exatamente o que é a matéria escura, mas certamente temos nossas teorias favoritas. Em muitos desses modelos, o Higgs é a única partícula que interage prontamente com os prótons e nêutrons comuns e com a matéria escura.

Outro exemplo que pode ser usado é a citação de Stephen Hawking no prefácio do livro "*Starmus*" onde Hawking (Israeli, 2014) supõe que o bóson de Higgs teria potencial para destruir o Universo devido sua instabilidade pelos níveis energéticos muito elevados que este possui o que causaria uma decadência do vácuo levando ao colapso do espaço tempo. Apesar de que para isso acontecer seria necessário níveis energéticos acima de 100 bilhões de giga-eletron-volts e um acelerador de partículas com dimensões maiores que a da Terra, o suposto apocalipse que a partícula de Deus pode proporcionar é um dos pontos mais difundidos na série, a capacidade de criar e destruir que resulta no fechamento dos ciclos. Essa ideia de "fim do mundo" pode trazer benefícios para o professor durante a aula, ajudando a manter a atenção e curiosidade dos alunos enquanto conclui, desafiando os alunos a pensarem com questionamentos como: "tem sentido chamar o bóson de Higgs de partícula de Deus?", "se as supermáquinas ficarem muito mais potentes, o que mais poderá ser detectado?", "o campo de Higgs seria um novo éter?"; incitando, assim, a construção de uma visão crítica indagadora nos estudantes.

6.4 Chernobyl: Radioatividade

Episódio 2, temporada 1. 34min05s - 36min00s.

Figura 14 - Imagem de trecho do episódio 2, temporada 1 de *Chernobyl*.



Fonte: HBO

Retratando o pior acidente nuclear já registrado, a série *Chernobyl* está repleta de abordagens sobre radiação e suas consequências, com cenas realistas da situação vivida na época. O trecho de cena proposto (Figura 14) ocorre no início da série e retrata a tentativa de conter a radiação emitida pelo reator danificado através do derramamento de areia e boro no local. Entretanto um dos helicópteros designados para o serviço se aproxima demais e acaba sendo destruído pela radiação. A escolha da cena se deu pelo seu potencial de mostrar a verdade e a mentira sobre a radiação e os acontecimentos do acidente.

É indicado que antes de mostrar a cena o professor questione os alunos sobre o que eles entendem por radiação e, através das respostas, introduzir o relato sobre *Chernobyl*, suas causas e efeitos.

O acidente ocorreu durante testes de aproveitamento de energia mecânica do turbo alternador em situações de *blackout* e teria sido evitado se as regras estabelecidas para o ensaio tivessem sido respeitadas e as medidas de segurança tivessem sido aplicadas. Como é registrado no relatório da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) de setembro de 1986:

Devido ao fato de que para esses ensaios a segurança não tinha sido objeto de uma atenção suficiente, os operadores não estavam corretamente preparados, bem como não estavam conscientes de perigos eventuais. Além disso o programa previsto também não fora obedecido, criando assim

condições propícias para uma situação de emergência. (CNEN, 1986)

Portanto, devido à sequência de erros e mau controle da operação, na madrugada de 25 para 26 de abril de 1986 o reator número 4 da usina de *Chernobyl* sofreu superaquecimento por estar operando em uma potência inferior ao limite previsto durante um longo período. Inicialmente os operadores e engenheiros supuseram que houve uma explosão no tanque de controle de hidrogênio, tomando as medidas necessárias para manter o fluxo de água pelo núcleo do reator, impedindo uma catástrofe maior. Entretanto, após a informação ser repassada erroneamente para as autoridades do país que minimizaram a situação, o químico Valery Legasov, especialista no reator tipo RDMK usado na usina, constatou que por haver resíduos de grafite no solo do reator destruído, a explosão não havia sido apenas em um tanque de hidrogênio, mas no próprio núcleo já que é o único local de um reator onde poderia haver grafite, sendo esse material usado como moderador do fluxo de nêutrons durante a fissão nuclear. A descrença inicial (acreditava-se que era impossível o núcleo de um reator explodir) provocou a ação tardia de evacuação da cidade o que resultou em mais mortes. No entanto, como foi comprovado posteriormente,

a pressão no núcleo aumentou de tal maneira que a vazão de água das bombas de circulação praticamente cessou (porque as válvulas de não retorno estavam fechadas). Somente a ruptura de canais de combustíveis permitiu o restabelecimento parcial da vazão de água. A formação de vapor e o aumento brusco da temperatura do núcleo favoreceram uma reação entre o vapor e o zircônio e outras reações químicas exotérmicas dando o efeito de explosão. (CNEN, 1986)

Essa introdução abre um espectro de conteúdos que o professor pode abordar com os alunos sobre como é o funcionamento de um reator, como ele é usado para gerar energia elétrica e, até mesmo, assuntos mais específicos como a reação do grafite com o núcleo já instável que causou a reação em cadeia e a explosão do teto, liberando a radiação na atmosfera.

Um ponto interessante que pode ser visto na cena é a fumaça constante nos destroços do reator o que leva a quem assiste supor que, por consequência da explosão, há um incêndio. Na própria série o engenheiro chefe Anatoly Dyatlov, sem saber a criticidade da situação, ordena que sejam chamados bombeiros para conter o incêndio, mas, apesar dos esforços, não conseguem conter as “chamas”. Um dos bombeiros inclusive afirma que a temperatura está alta demais e que sente o gosto

de metal na boca. A explicação do fracasso vem pelo próprio Legasov que afirma: “Não é um incêndio. É o núcleo de um reator fissionando a mais de 2 mil graus. O calor vai fazer a água evaporar”. Portanto o brilho intenso que impressiona a população, descrito por muitos como “uma espécie de fogos de artifício de partículas incandescentes”, era resultado do chamado efeito *tcherenkov* que ocorre quando uma partícula eletricamente carregada se move em um meio com uma velocidade acima da velocidade da luz naquele meio emitindo uma luz azul como consequência. Desta forma, como os átomos de Urânio 235, o combustível usado no reator 4, são extremamente instáveis e pesados, os elétrons que escapam constantemente dele atingem a matéria ao redor destruindo-a rapidamente através da elevação da temperatura. É por conta disto que a água evaporou antes mesmo de tocar o núcleo derretido, os dosímetros usados para medir a quantidade de partículas radioativas no ar foram fundidos, assim como os corpos dos bombeiros e de todos que estavam próximos da radiação foram irreversivelmente comprometidos.

Logo, na tentativa de conter a radiação e o “incêndio” que já atingia níveis alarmantes sendo detectados até mesmo na Suécia, Legosov propõe o despejo de bóro com areia sobre o reator para forma um silo de contenção. Para isso são designados helicópteros, no entanto é necessário que se mantenham a um raio de 10 metros do reator para não sofrerem danos. Um dos helicópteros, como visto na cena, termina por quebrar o perímetro, sua comunicação é comprometida, e acaba por ser destruído pela radiação. Apesar dessa cena não ter ocorrido na realidade (houve uma queda de helicóptero, mas devido a um acidente com um guindaste), ela serve como alerta para os efeitos da radiação além de trazer um ar ainda mais crítico à trama dramática da série.

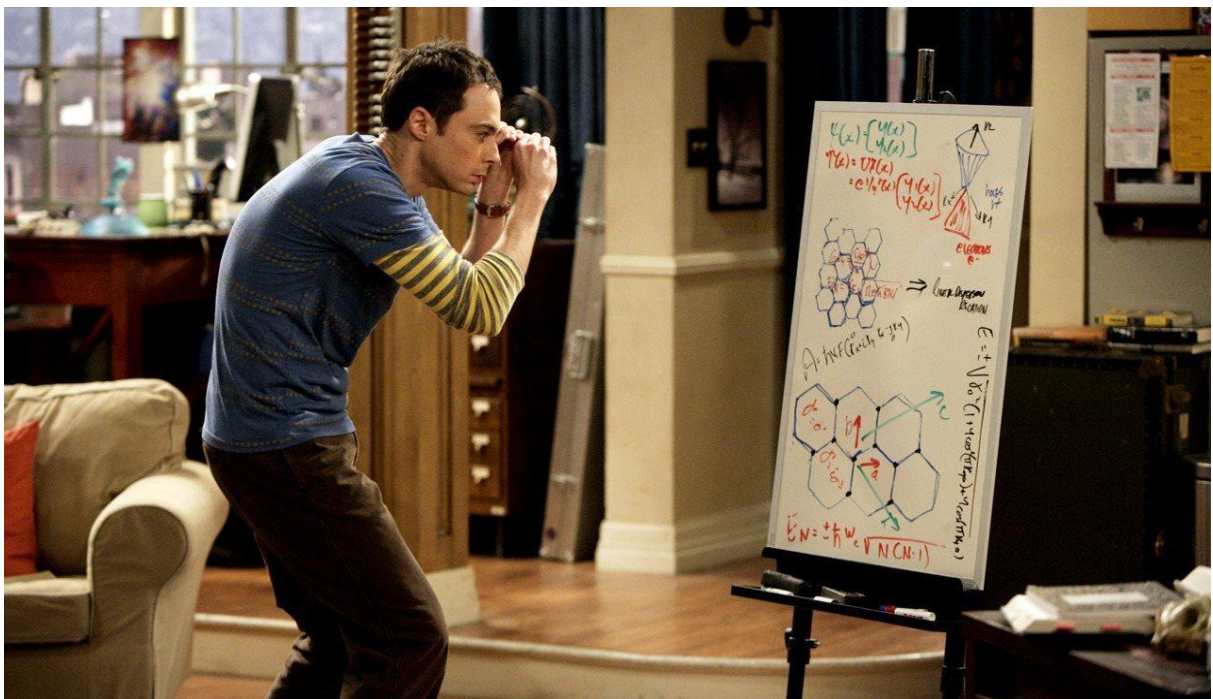
Partindo da análise da cena é possível incitar um debate entre os alunos sobre a fissão nuclear, as consequências da exposição à radiação e a contenção da radiação. Perguntas como “porque usar areia e boro para conter o desastre?”, “outros materiais poderiam ser usados?”, “a cena do helicóptero seria possível de acontecer na realidade?” poderiam ser impostas para incentivar a discussão ao mesmo tempo que o professor testemunharia a compreensão dos alunos sobre os conceitos apresentados. Uma indicação para atividades complementares seria os alunos assistirem outras cenas específicas da série conectando-as ao conteúdo dado em sala de aula. Um exemplo seria a cena em que Legosov expõe para o conselho a situação real e diz: “o combustível nuclear não se resfria simplesmente

porque não está em chamas, inclusive a temperatura irá subir por conta do cobertor de areia que despejamos. O urânio derreterá a areia criando uma lava que começará a derreter o escudo abaixo”. Como a física nuclear Ulyana Khomyuk supõe que ainda haja água nos tanques abaixo do reator ela afirma que “quando a lava entrar nesses tanques vai instantaneamente superaquecer e evaporar aproximadamente 7 mil metros cúbicos de água provocando uma explosão termal gigantesca. Entre 2 e 4 megatons, tudo num raio de 30 quilômetros será destruído.” Com essa cena seria proposto para os alunos identificarem o porquê de a temperatura aumentar com o contato entre urânio e areia além da veracidade sobre a suposta explosão termal proposta pela cientista. É importante salientar que mesmo as pesquisas não rendendo respostas totalmente corretas, o intuito é o aluno ser construtor do próprio conhecimento, participando ativamente das discussões posteriores de forma independente e consciente.

6.5 The Big Bang Theory: Grafeno

Episódio 14, temporada 3. “A aproximação de Einstein”. 05min21s – 06min06s e 16min33s – 17min06s.

Figura 15 - Cena do episódio 14, temporada 3 de *The Big Bang Theory*.



Fonte: CBS

Apesar de conceitos físicos serem abordados em todos os episódios da série, incluídos no cotidiano dos personagens, a cena proposta foi escolhida por apresentar um material com propriedades físicas capazes de revolucionar diversas áreas do mundo atual: o grafeno. Sendo um derivado do carbono, especificamente do grafite, o grafeno vem sendo estudado a fundo pelas suas características peculiares e suas aplicações diversas. O episódio 14 aborda uma dessas características: a elevada condutividade elétrica do grafeno. No entanto o personagem Sheldon (Figura 15) não tem seu foco nesta característica em si, mas no porquê de ela existir. No início do episódio ele afirma: “Eu não consigo entender. Os elétrons se movem através do grafeno, agem como se não tivessem massa” e esse seria o motivo do grafeno ser um ótimo condutor, melhor do que o silício. Esse “problema” leva Sheldon a procurar de forma obcecada uma solução durante todo o episódio. Ele usa ervilhas, bolas de gude e, como última solução, ele invade uma piscina de bolinhas afirmando que “a proporção estava errada. Eu não conseguia visualizar, precisava de átomos de carbono maiores.”.

Mesmo Sheldon tratando o problema como algo complicado e supostamente impossível, o conceito do elétron ter uma massa diferente quando está em um cristal é bastante comum na física do estado sólido, conhecido como “teoria da massa efetiva”. Isso ocorre pois, em estado livre, o elétron não possui obstáculos para sua passagem, logo sua massa permanece a mesma, mas em um cristal (sólido) o elétron não está mais “sozinho” no espaço, há diversos núcleos atômicos do material que agem como impedimento para o elétron se deslocar livremente. Inicialmente, o estudo desse tipo de sistema seria complicado, utilizando-se da mecânica quântica para ser explicado com precisão. No entanto, considerando o sólido como uma rede cristalina de átomos regulares há a possibilidade de aproximações como, por exemplo, considerar que a passagem do elétron no sólido não causa alterações significativas no núcleo por este ser pesado. Fazendo uso dessas aproximações foi possível utilizar a segunda Lei de Newton e, através dela, descobrir que a energia cinética, em função do momento, do elétron em um sólido é a mesma que a de um elétron livre, modificando apenas que a massa do elétron no sólido é, na verdade, a massa efetiva dele, um valor que carrega toda a informação da rede de átomos do sistema.

Entretanto a massa efetiva é apenas um valor diferente da massa usualmente conhecida do elétron, mas porque no grafeno essa massa é zero? Isso ocorre pois

nos sólidos os elétrons ficam restritos a faixas (bandas) de energia: a banda de valência, onde os elétrons estão fortemente conectados aos átomos, e a banda de condução, onde os elétrons podem se movimentar livremente. Em materiais isolantes e semicondutores os elétrons podem se libertar, saltando de uma banda para a outra, se recebem energia suficiente para ultrapassarem o “gap”, uma região entre as bandas associada a variação energética entre a maior energia possível na camada de valência e a menor energia possível na camada de condução. No grafeno o gap é infinitesimal o que facilita a movimentação rápida dos elétrons entre as bandas.

A consequência dessa movimentação facilitada é exatamente a solução que Sheldon encontra no fim do episódio ao quebrar os pratos do restaurante e perceber: “o padrão de interferência na fratura. Um movimento de onda através da estrutura molecular. Eu estava vendo tudo errado. Eu não posso considerar os elétrons como partículas, eles se movem no grafeno como ondas.”. A solução de Sheldon está relativamente certa. O elétron é *considerado* como onda no grafeno devido a técnica conhecida como “onda de Bloch”, um tipo de função de onda comumente usada para explicar a movimentação dos elétrons em cristais, e pela energia cinética ter o mesmo formato ($E = c \times p$) que a energia cinética do fóton, mudando apenas que a velocidade do elétron é em torno de 300 vezes menor que a da luz. Por conta disso, na prática, o elétron no grafeno parece a uma partícula livre com massa zero, semelhante ao fóton.

Os trechos escolhidos do início e do fim do episódio apresentam um problema e trazem sua solução de forma bem-humorada e bastante precisa o que proporciona um ambiente leve durante a aula. Apesar da física do estado sólido não ser normalmente apresentada no ensino médio, através da análise da cena é possível para o professor abordar um tema novo conectando-o a temas antigos que estão sempre presentes no ensino de física como energia cinética, velocidade da luz e ondas. Além disso o professor pode sugerir o debate entre os alunos sobre o que esse comportamento do elétron provoca no grafeno (alta condutividade elétrica) e como essa característica diferenciada pode ser aplicada no mundo em que vivemos (dispositivos eletrônicos, distribuição de energia elétrica, entre outros). É importante para o professor lembrar que, mesmo que a explicação da cena traga termos como a “onda de Bloch”, um conceito que é abordado apenas em cursos superiores por envolver uma matemática mais complexa, o intuito é que os alunos do ensino médio

compreendam a teoria que envolve o comportamento dos elétrons no grafeno de forma simplificada e coesa, conectando os novos conhecimentos a conceitos anteriores como o do elétron livre. A utilização desses termos complexos é apenas uma forma de enriquecer a explicação, levando-a a uma conclusão mais precisa, mas que não devem ser aprofundados nem implicar em uma preocupação para o momento presente.

7. RESULTADOS ESPERADOS

Tratando-se de um trabalho baseado na teoria do ensino de física, espera-se que a inserção de meios multimídias facilite a aprendizagem, auxiliando na melhor interiorização do conteúdo apresentando através das informações significativas expostas pela análise das cenas. Através da observação das cenas propostas busca-se tornar o ambiente da aula mais dinamizado e prazeroso, utilizando meios comumente voltados para o lazer na construção do conhecimento dos alunos aproveitando, assim, para inserir a Física no cotidiano deles, pois

através da atividade prática, que o indivíduo utiliza da linguagem e dos objetos existentes em sua cultura, oportunizando assim seu desenvolvimento, dando destaque aos conhecimentos histórico-cultural, conhecimentos produzidos e já presentes no seu cotidiano. (COELHO e PISONI, 2012 p. 148 apud MORAES, 1988).

Sendo uma proposta diferenciada de ensino, a abordagem de conteúdos complexos de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio é facilitada através da utilização de linguagens mais simples e diretas, além da conexão feita entre os novos conteúdos com aqueles que os estudantes são familiarizados. Com isso espera-se que a aprendizagem ocorra de forma mais fluida e compreensível, evitando a utilização de fórmulas para trazer à percepção do aluno que a Física exposta nos livros tem uma base conceitual mais importante, os cálculos normalmente memorizados são apenas consequência disso. Ensinar os estudantes a verem a Física como algo presente no seu dia a dia e não apenas “mais uma disciplina para estudar, mais fórmulas para memorizar” pode transformar a aula e tornar a aprendizagem mais significativa.

Com a Física conceitual apresentada nas cenas espera-se que haja o despertar da curiosidade dos discentes por retratarem temas como buracos de minhoca, radioatividade e matéria escura. Apesar de serem conceitos explorados na mídia atual, o que os torna acessível aos alunos mesmo fora do ambiente escolar, ainda são permeados por mistérios devido muitas de suas teorias não serem totalmente comprovadas e novas descobertas serem feitas dia após dia o que instiga a imaginação, levando os alunos a explorarem os conteúdos expostos na sala fora dela, dando continuidade no aprendizado sem a necessidade de uma imposição forçada pelo professor.

Agindo o professor como mediador do ensino é preciso que este auxilie no

desenvolvimento do conhecimento através do incentivo ao debate entre os alunos e na exposição dos novos conceitos tomando como base os conhecimentos já adquiridos pelos alunos. O debate é um ponto crucial para o aprendizado de forma que os alunos desenvolvam o que foi visto nas cenas através das discussões com outros estudantes, construindo o conhecimento pela cooperação e interação. Espera-se que o professor insira os conteúdos a partir do debate de forma a contribuir com a cooperação já presente, acrescentando informações e corrigindo conceitos equivocados se necessário, deixando que os alunos tenham liberdade para evoluir suas ideias e construam um aprendizado mais independente. Além disso cabe ao professor explicar novas maneiras de desafiar o pensamento dos alunos de forma que eles tenham uma mente crítica quanto ao que assistem e aprendem. Como proposto no trabalho, a análise e posterior correção dos erros físicos presentes nas cenas é uma forma diferenciada de exercer esse desafio, incentivando os alunos a pensarem em formas de solucionar esses erros e em como realmente deveria ser a cena após essas soluções. A indicação de materiais por parte do professor que acrescentem informações relevantes para os alunos pesquisarem posteriormente também é esperado, visando o entendimento científico e uma maior inserção no mundo da Física.

Além disso, sendo esta uma proposta teórica de ensino e que abrange conteúdos extracurriculares, a conexão com conteúdos já presentes no currículo de física do Ensino Médio é crucial para construir uma base sólida do aprendizado, além de ser indispensável que o professor tenha conhecimentos prévios sobre as séries a serem abordadas, sempre tendo o foco nas cenas escolhidas e não se estendendo além delas tanto para evitar uma aula longa e maçante quanto para evitar possíveis *spoilers* sobre a história das séries.

Portanto, é importante que o uso de séries nas aulas seja uma experiência enriquecedora que transforme a visão muitas vezes antiquada que os estudantes têm do ensino de Física, levando os educandos a uma melhor compreensão dos conteúdos mais complexos ao conectá-los com a física presente no cotidiano.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de Física vem se modificando no decorrer do tempo, buscando ultrapassar a barreira que é o notório desinteresse de muitos dos alunos devido ao pensamento equivocado de que é uma disciplina de difícil aprendizado. Para transformar esse sentimento muitas vezes enraizado desde os primeiros contatos com as ciências, os educadores buscam inovar nos métodos de ensino como forma de despertar o interesse e a curiosidade, abandonando metodologias ultrapassadas centralizadas no professor para adotar aquelas que tem o aluno como foco.

Com a globalização e o desenvolvimento acelerado de novas tecnologias, a disseminação do conhecimento ultrapassou as paredes da escola, levando os professores a se reinventarem. A inclusão de recursos digitais nas aulas se tornou inevitável ao se mostrar uma solução para a incessante busca pela inovação do ensino, sendo os meios multimídias uma das formas mais práticas e acessíveis de fazer essa inclusão.

Através dos avanços notáveis na área audiovisual, o uso de séries como metodologia ativa no ensino supre a necessidade de tornar a aula mais dinâmica, capturando o interesse dos alunos, além de conectar a sala de aula ao cotidiano dos estudantes. Utilizar essa forma de metodologia traz benefícios tanto para o professor, como a melhora da qualidade da docência sendo um recurso didático com aplicações amplas e diversificadas, quanto para os alunos ao agir como facilitador do ensino por tornar temas considerados complexos na disciplina mais acessíveis e compreensíveis.

Um dos temas da Física que se encaixa nessa descrição é a Física Moderna e Contemporânea (FMC). Por ser um conteúdo normalmente abordado apenas no final do último ano do Ensino Médio e de forma superficial e rápida, a FMC ainda é permeada por tabus, muitas vezes considerada por estudantes como “difícil e complicada” por trazer conceitos relativamente novos e que desafiam o pensamento comum como, por exemplo, a ideia de dilatação temporal. No entanto o mesmo pensamento que a torna complexa para ser estudada em sala de aula, na concepção dos alunos, é aquele que a torna interessante e misteriosa para ser abordada em séries e filmes de sucesso como Vingadores, Interestelar e De Volta Para o Futuro já que, por ter suas bases mais teóricas do que comprovadas experimentalmente, a FMC se torna o ambiente propício para unir o mundo real à

ficção, algo sempre buscado nas produções cinematográficas e em seriados, o que desperta o interesse das pessoas ao abrir espaço para a imaginação e o que muitas vezes é considerado como impossível.

Baseando-se nisto, o presente trabalho trouxe a proposta de usar séries e seriados para o ensino de conteúdos extracurriculares da FMC em turmas de ensino médio como forma de facilitar a aprendizagem de conceitos complexos, tomando-se a ideias construtivistas de Piaget e Vygotsky como referência ao incentivar o ensino de novos conteúdos a partir dos conhecimentos prévios dos alunos, atuando o professor como mediador para a construção do conhecimento. Apesar de o uso de meios multimídias para o ensino de ciências ser algo bastante disseminado nos dias atuais pela sua clara eficácia, este trabalho diferencia-se dos demais por ter seu foco não apenas nos conceitos de FMC abordados corretamente nas cenas propostas, mas principalmente por explicar os erros conceituais presentes nestas como forma mais eficaz de fixar os novos conhecimentos, incentivando o debate cooperativo entre os alunos e introduzindo fluida e gradualmente os conceitos corretos. A proposta principal é que os alunos sejam capazes de compreender os erros e identificar como a cena deveria acontecer se as correções fossem implantadas, agindo assim como participantes ativos no desenvolvimento do próprio conhecimento.

Com novas descobertas físicas sendo feitas tanto no mundo macroscópico quanto no mundo microscópico e divulgadas na mídia atual diariamente, a necessidade de um ensino mais aprofundado da FMC às turmas do ensino médio é incontestável como forma de preparar os alunos para mundo em que eles estão inseridos. O êxito em usar séries de televisão para promover esse aprofundamento se mostra através de sua acessibilidade para professores e alunos por serem conhecidas como meio de entretenimento e lazer além de sua abundância nos meios televisivos e virtuais, abrangendo conceitos físicos diversos e tornando-os cognoscíveis, propiciando uma nova visão da Física como algo inerente a vida do estudante.

REFERÊNCIAS

AONO, Cassiano; CESAR, Felipe; DIAS, Grabiela. Dark, viagem no tempo e a faixa de Moebius. **Guia dos Entusiastas da Ciência**, Brasil, v. 3, n. 7, p. 2-2, jun. 2020. Disponível em: <https://proec.ufabc.edu.br/gec/ciencia-pop/dark-viagem-no-tempo-e-a-faixa-de-moebius/>. Acesso em: 20 mar. 2021.

ARANTES, José Tadeu. Interação entre o bóson de Higgs e múons é detectada pela primeira vez. 2020. **Agência FAPESP**. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/interacao-entre-o-boson-de-higgs-e-muons-e-detectada-pela-primeira-vez/33790/#:~:text=O%20b%C3%B3son%20de%20Higgs%20%C3%A9,em%20outras%20part%C3%ADculas%20mais%20leves..> Acesso em: 20 mar. 2020.

ARAUJO, Guilherme Davi. **O Gato de Schrödinger. Resumo**. Disponível em: <http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2014-1%20SFI5774%20Mecanicaquantica/Seminario%20-%20Guilherme%20-%20Gato%20de%20Schr%F6dinger.pdf>. Acesso em 19 mar. 2021

BAER, Howard *et al.* The Collider That Could Save Physics: a proposed japanese accelerator could solve those mysteries the lhc did not. 2016. **Scientific American**. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/the-collider-that-could-save-physics/>. Acesso em: 20 mar. 2021.

BECKER, F. O que é Construtivismo? **Revista de Educação AEC**, Ano 21, Nº 23, Abri/Junho de 1992.

BECKER, Fernando. Ensino e construção do conhecimento: o processo de abstração reflexionante. Porto Alegre. **Educação & Realidade**, vol. 18, p. 43-52, 1993. _____ Modelos pedagógicos e modelos epistemológicos. Porto Alegre. **Educação & Realidade**, vol. 19, p. 89-96, 1994.

CARROLL, Sean. **How the Higgs can lead us to the dark universe**. 2012. CNN. Disponível em: https://edition.cnn.com/2012/07/20/opinion/higgs-dark-matter-carroll/index.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+rss%2Fcdn_tech+%28RSS%3A+Technology%29. Acesso em: 20 mar. 2021

CHO, A.. Higgs Boson Makes Its Debut After Decades-Long Search. **Science**, [S.L.], v. 337, n. 6091, p. 141-143, 12 jul. 2012. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.337.6091.141>.

COELHO, L.; PISONI, S. **Vygotsky: sua teoria e a influência na educação**. Revista ePed – FACOS/CNEC Osório Vol.2 – Nº1 – AGO/2012 – ISSN2237-7077. Disponível em: http://facos.edu.br/publicacoes/revistas/e-ped/agosto_2012/pdf/vygotsky_-_sua_teorica_e_a_influencia_na_educacao.pdf. Acesso em 23 mar. 2021.

DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter Jose; BOAS, Newton Vilas. **Tópicos de Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise Dimensional**. 18. ed. São Paulo, Editora Saraiva, 2012.

ELÉTRONS finalmente domados no grafeno abrem caminho para nanotransistores. 2017. Redação do Site Inovação Tecnológica. Disponível em: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=eletrons-finalmente-domados-grafeno-nanotransistores&id=010110171024#.YF8JN-hKiUI>. Acesso em: 17 mar. 2021.

ESTEVES, Daly. **ACIDENTE DE CHERNOBYL (CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS). Parte II.**: relatório dr m9134/86 - 2/ 2.. Brasil: Cnen, 1986. 71 p. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/18/079/18079664.pdf. Acesso em: 20 mar. 2021.

F Lobo, P Crawford. "Wormholes": túneis no espaço-tempo. **Gazeta da Física**, 1999. P. 4-10. Disponível em: <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/85/article/552/pdf>. Acesso em 31 jan. 2021.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **"Grafeno – uma revolução tecnológica"**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/grafenouma-revolucao-tecnologica.htm>. Acesso em 17 de março de 2021.

FOLLOW-UP: What exactly is a 'wormhole'? Have wormholes been proven to exist or are they still theoretical? 1997. Scientific American. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/follow-up-what-exactly-is/>. Acesso em: 31 jan. 2021.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física. Volume 3**. 1a edição. São Paulo, Editora Ática, 2000.

GERNSBACK, Hugo. "A New Sort of Magazine", **Amazing Stories**, Vol. 1, No. 1 (April 1926), p. 3.

GLEISER, Marcelo. O futuro na ponta do lápis: composto tirado do grafite promete revolução. **Folha de S. Paulo**. São Paulo, p. 1-1. 28 jan. 2007. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe2801200702.htm#:~:text=No%20grafeno%2C%20os%20el%C3%A9trons%20comportam,se%20n%C3%A3o%20tivessem%20massa%20alguma.&text=Os%20el%C3%A9trons%20do%20grafeno%20comportam,do%20que%20a%20da%20luz..> Acesso em: 17 mar. 2021.

GONÇALVES, Renata. **PIAGET E VYGOTSKY - DIFERENÇAS E SEMELHANÇAS**. Disponível em: <https://monografias.brasilecola.uol.com.br/psicologia/piaget-vygotsky--diferencas-semelhancas.htm#:~:text=Piaget%20privilegia%20a%20matura%C3%A7%C3%A3o%20biol%C3%B3gica,fixa%20e%20universal%20de%20est%C3%A1gios.&text=Vygotsky%20discorda%20de%20que%20a,do%20individual%20para%20o%20social>. Acesso em: 08 abr. 2021.

GREGORIO-HETEM, Jane; JATENCO-PEREIRA, Vera. **ESTÁGIOS FINAIS DA EVOLUÇÃO ESTELAR**. 2010. Capítulo 12. Observatório Virtuais. Fundamentos da Astronomia.. Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap12.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2021.

HALLIDAY D, RESNICK R, WALKER J. **Fundamentos da física: óptica e física moderna**. Vol. 4. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e científicos; 2009.

Hawking, Stephen (1988). **A Brief History of Time**. [S.l.]: Bantam Books. ISBN 0-553-38016-8

ISRAELIAN, Garik *et al.* **Starmus: 50 years of man in space**. Estados Unidos da América: Welbeck Publishing Group, 2014. 224 p. Coleção Monstrous Maud.

JIANG, Yuhang *et al.* **Tuning a circular p–n junction in graphene from quantum confinement to optical guiding**. Nature Nanotechnology, [S.L.], v. 12, n. 11, p. 1045-1049, 18 set. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2017.181>.

KRAUSE, Décio. **O gato de Schrödinger não está vivo e morto antes da medição**: sobre a interpretação dos resultados quânticos. Seminário Lógica no Avião, [S.L.], p. 104-122, 2019. Lógica no Avião. http://dx.doi.org/10.21452/lna_serie_n_v01_book_seminario-logica-no-aviao-2013-2018_decio-krause_p.104-122.

LEAL, Laysa. **O nascimento da ficção científica: influências e primeiras obras**. 2020. Disponível em: <https://www.editoramadreperola.com/o-nascimento-da-ficcao-cientifica-influencias-e-primeiras-obras/>. Acesso em: 08 abr. 2021.

LEDERMAN, Leon. **The God Particle**. Nova York: Mariner Books, 2006. 434 p.

LIMA, Rodrigo da Silva; PIMENTAL, Luiz Cláudio Ferreira; AFONSO, Júlio Carlos. O despertar da radioatividade ao alvorecer do século XX. **Química Nova na Escola**, vol. 33, n. 2, pag. 93-99, maio de 2011. Disponível em http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc33_2/04-HQ10509.pdf. Acesso em 20 mar. 2021

LOBATO, Danilo Batista. O uso de filmes como ferramenta didática no Ensino de Física. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 05, Ed. 05, Vol. 05, pp. 121-131. Maio de 2020. ISSN: 2448-0959, Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/ensino-de-fisica>. Acesso em: 23 mar. 2021.

MACEDO, Claudio. **O estranho comportamento dos elétrons no grafeno**. 2016. Disponível em: <https://saense.com.br/2016/02/o-estranho-comportamento-dos-eletrons-no-grafeno/>. Acesso em: 17 mar. 2021.

MAKLER, Martín. MATÉRIA ESCURA: NOVOS CAMINHOS PARA DETECTAR MISTERIOSO COMPONENTE DO UNIVERSO. 2019. **Ciência Hoje**. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/artigo/materia-escura-novos-caminhos-para-detectar-misterioso-componente-do-universo/>. Acesso em: 20 mar. 2021.

MARTINS, Erik de Oliveira. **Estudo de Propriedades Mecânicas do Grafeno por Primeiros Princípios**. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Colegiado de Pós-Graduação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: http://lilith.fisica.ufmg.br/posgrad/Dissertacoes_Mestrado/decada2010/erik-martins/ErikDeOliveiraMartins-diss.pdf. Acesso em: 17 mar. 2021.

MAXIMO, Antônio; ALVAR, Beatriz; GUIMARÃES, Carla. **Física Contexto e Aplicações 3**. 2. ed. Brasil, Editora Scipione, 2017.

MAZO, Pedro Luiz. **O Gato de Schrödinger**. Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, 13560-970 São Carlos, Brasil, 2018. Disponível em: <http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2018-2%20SF15707%20MecanicaquanticaB/Monografia%20-%20Pedro%20-%20SchroedingerCat.pdf>. Acesso em 19 mar. 2021.,

MEDEIROS, Livia Maria dos Santos. **O USO DE FILMES NO ENSINO DE TÓPICOS DA FÍSICA MODERNA**. 2010. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Física, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010. Disponível em: <file:///E:/TCC/uso%20de%20filmes%20em%20fisica%20moderna%20TCC%20MUITO%20IMPORTANTE%20COMO%20EXEMPLOOOO.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

MERÇON, Fábio; QUADRAT, Samantha Viz. A radioatividade e a história do tempo presente. **Química Nova na Escola**, n. 19, pag. 27-30, maio de 2004. Disponível em <http://webeduc.mec.gov.br/portaldoprofessor/quimica/sbq/QNEsc19/a08.pdf>. Acesso em 20 mar. 2021

MONTEIRO, Maria Amélia *et al.* A SISTEMÁTICA INCOMPREENSÃO DA TEORIA QUÂNTICA E AS DIFICULDADES DOS PROFESSORES NA INTRODUÇÃO DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: the quantum theory systematic incomprehensibility and teachers difficulties concerning to the introduction of modern and contemporary physics at high school level. **Ciência e Educação**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 557-580, ago. 2009. Disponível em: <file:///E:/TCC/fisica%20para%20ensino%20medio%20artigo.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

MORAIS, Valquiria Dresch *et al.* USO DE FILMES CINEMATOGRAFICOS NO ENSINO DE FÍSICA: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, Ariquemes, v. 1, n. 7, p. 189-200, jun. 2016. Disponível em: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1gW-o8Vj5b0J:www.faema.edu.br/revistas/index.php/Revista-FAEMA/article/download/382/415/1518+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 23 mar. 2021.

MORAES, Vinícius. **Doutora em física explica por que o grafeno vai mudar nosso mundo**. 2011. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/grafeno/7845-doutora-em-fisica-explica-por-que-o-grafeno-vai-mudar-nosso-mundo.htm>. Acesso em: 17 mar. 2021.

MOREIRA, M. A. Bóson de Higgs: uma conjectura audaz? **Ens. Tecnol. R.**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 141-157, jul./dez. 2017.

MOREIRA, Marco Antonio **O Bóson de Higgs na mídia, na Física e no Ensino de Física [recurso eletrônico]**. Porto Alegre: UFRGS, 2017. 37 p. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v28n2_moreira.pdf. Acesso em: 20 mar. 2021.

MOTA, Anelise Bertuzzi. **CRIANÇA E MÍDIA - O ACESSO AO COMPUTADOR E SEUS REFLEXOS NOS SABERES DA CRIANÇA DE EDUCAÇÃO INFANTIL**. 2007. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Educação, Linha Cultura, Escola e Ensino, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: http://www.ppge.ufpr.br/teses/M07_mota.pdf. Acesso em: 12 fev. 2021.

MORAN, José. O Vídeo na Sala de Aula. **Comunicação & Educação**, São Paulo, p. 27-35, maio 1995. Disponível em: http://www.eca.usp.br/prof/moran/site/textos/desafios_pessoais/vidsal.pdf. Acesso em: 12 fev. 2021.

MURR, Caroline Elisa. **FÍSICA QUÂNTICA E OBJETIVIDADE CIENTÍFICA. ALGUMAS IDEIAS FILOSÓFICAS DE ERWIN SCHRÖDINGER**. Orientador: Prof. Dr. Décio Krause. 2010. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Filosofia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/93910/278116.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 19 mar. 2021.

NEVES, Juan Carlos Rocha *et al.* **USO DE SÉRIES E FILMES NO ENSINO DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO**. 2019. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso. - Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.

NOGUEIRA, Liebert parreiras. **O USO DE FILMES NO ENSINO DE FÍSICA**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), 2005.

NOSSO Universo pode estar em uma ponte entre dois outros universos. 2010. Redação do Site Inovação Tecnológica. Disponível em: https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=universo-dentro-buraco-minhoca#.YF8F_OhKiUk. Acesso em: 31 jan. 2021.

NOVOSELOV, K. S.. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. **Science**, [S.L.], v. 306, n. 5696, p. 666-669, 22 out. 2004. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1102896>.

O que são os exóticos 'buracos de minhoca' de Einstein e Rosen, que poderiam levar a viagens no tempo e no espaço. BBC. 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-53067626#:~:text=%22Ent%C3%A3o%2C%20junto%20com%20o%20f%C3%ADsico,a%20um%20buraco%20branco%22%2C%20explica>. Acesso em: 31 jan. 2021.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Anais do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Florianópolis, 2000.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Investigações em Ensino de Ciências 5**, 1 (2000).

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C.J. de H. **Física na Escola 2**, 1 (2001).

ROZCO-GÓMEZ, G. **Professores e meios de comunicação: desafios, estereótipos e pesquisas.** Comunicação & Educação, n. 10, p. 57-68, set.-dez. 1997.

PIAGET, Jean. **Epistemologia genética.** São Paulo: Martins Fontes, 1990.

PIAGET, Jean. **Psicologia e pedagogia.** Tradução de Dirceu Accioly Lindoso e Rosa Maria Ribeiro da Silva. São Paulo e Rio de Janeiro: Editora Forense, 1970.

PIMENTA, Jean Júnio Mendes *et al.* O bóson de Higgs: (the higgs boson). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Londrina, v. 35, n. 22036, p. 1-14, 24 abr. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n2/06.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.

POPIAWSKI, Nikodem J.. **Radial motion into an Einstein–Rosen bridge.** Physics Letters B, [S.L.], v. 687, n. 2-3, p. 110-113, abr. 2010. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.03.029>. Acesso em 19 mar. 2021

RODRIGUES, Maria Fernanda. **No isolamento da pandemia, séries de televisão e livros viram amigos de todas as horas.** Disponível em: <https://www.estadao.com.br/infograficos/brasil,no-isolamento-social-da-pandemia-televisao-musica-e-livros-viram-amigos-de-todas-as-horas,1153705>. Acesso em: 08 abr. 2021.

SANTOS, J. M. B. Lopes dos. O Grafeno. **Revista de Ciência Elementar: Casa das Ciências**, Porto, v. 2, n. 2, p. 1-6, jun. 2014. Disponível em: https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/vol_2_num_2_opinio.pdf. Acesso em: 17 mar. 2021.

SHRAMOVYCH, Viacheslav; CHORNOUS, Hanna. **O que é fato e o que é ficção na série 'Chernobyl', nas palavras de um ex-funcionário da usina.** 2019. BBC News Ucrânia. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-48589563#:~:text=A%20atriz%20Emily%20Watson%20interpreta,%5D%20que%20trabalharam%20no%20desastre%22>. Acesso em: 20 mar. 2021.

SILVA, Ruan Bitencourt. **O custo da mentira: o drama e os erros de “Chernobyl”, a série mais bem avaliada da história do IMDb**. 2020. Universo Racionalista. Disponível em: <https://universoracionalista.org/o-custo-da-mentira-o-drama-e-os-erros-de-chernobyl-a-serie-mais-bem-avaliada-da-historia-do-imdb/>. Acesso em: 20 mar. 2021.

SIME, Ruth Lewin. Reflections on Nuclear Fission at Its Half-Century: lise meitner and the discovery of fission. **Journal Of Chemical Education**. Sacramento, p. 373-376. maio 1989. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed066p373>. Acesso em: 12 fev. 2021.

SORENSEN, Rafael do Nascimento; TEIXEIRA, Ricardo Roberto Plaza. **A FICÇÃO CIENTÍFICA NO ENSINO DE FÍSICA**. 2018. VIII Seminário de Iniciação Científica do Litoral Norte. Disponível em: <https://ocs.ifspcaraguatatuba.edu.br/sicln/viii-sicln/paper/viewFile/108/61>. Acesso em: 08 abr. 2021.

XAVIER, Allan Moreira *et al.* MARCOS DA HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE E TENDÊNCIAS ATUAIS. **Quim. Nova**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 83-91, ago. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v30n1/18.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.

XAVIER, Carlos Henrique Gurgel *et al.* O USO DO CINEMA PARA O ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO: (using cinema for teaching physics in the high school). **Experiências em Ensino de Ciências**, Fortaleza, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 93-106, maio 2010. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/eenci/artigos/Artigo_ID111/v5_n2_a2010.pdf. Acesso em: 23 mar. 2021.

ZWICKY, F.. ON THE REDSHIFT OF SPECTRAL LINES THROUGH INTERSTELLAR SPACE. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 15, n. 10, p. 773-779, 15 out. 1929. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.15.10.773>.