



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE FÍSICA
CURSO DE FÍSICA LICENCIATURA



**Expansão do universo e a curvatura do espaço-tempo: Experimento
de baixo custo para o ensino médio.**

Wesley Rodney dos Santos Silva

Maceió - AL

2024

Wesley Rodney dos Santos Silva

**Expansão do universo e a curvatura do espaço-tempo: Experimento
de baixo custo para o ensino médio.**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva.

Maceió - AL

2024

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

Bibliotecária: Helena Cristina Pimentel do Vale CRB4 - 661

S586e Silva, Wesley Rodney dos Santos.
Expansão do universo e a curvatura do espaço-tempo : experimento de baixo custo para o ensino médio / Wesley Rodney dos Santos Silva. – 2024.
69 f. : il.

Orientador: Wagner Ferreira da Silva.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Física : Licenciatura) – Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Física. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 48-51.

Apêndice: f. 52-69.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Expansão do universo. 3. Curvatura do espaço-tempo. 4. Ensino médio. 5. Experimentos de baixo custo. I. Título.

CDU: 53:37

FOLHA DE APROVAÇÃO

Wesley Rodney dos Santos Silva

Expansão do universo e a curvatura do espaço-tempo: Experimento de baixocusto para o ensino médio

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do grau de licenciado em Física pela Universidade Federal de Alagoas.

Documento assinado digitalmente
 **WAGNER FERREIRA DA SILVA**
Data: 24/04/2024 15:43:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva (Orientador).

Documento assinado digitalmente
 **GENTIL LUIZ DA SILVA II**
Data: 24/04/2024 17:05:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gentil Luiz da Silva II - IFAL (Membro externo)

Documento assinado digitalmente
 **ANDRE LUIS BAGGIO**
Data: 24/04/2024 12:48:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. André Luís Baggio - IF/UFAL (Membro interno)

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente ao Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva por ter aceitado ser meu orientador, pelo apoio, paciência e contribuições inestimáveis, bem como, à Prof. Dra. Maria Socorro por tê-lo indicado. Sem a ajuda de vocês, este trabalho não teria sido possível.

Gostaria também de expressar minha gratidão de forma indireta a todos os meus professores ao longo dos anos de curso. Cada um de vocês contribuiu de alguma forma para o meu desenvolvimento, e sou grato por isso. Agradeço à minha família, e amigos que conheci nesse período, os quais também me ajudaram nesse processo.

Além disso, quero estender meus agradecimentos a todos os professores e cientistas da história que se dedicaram à educação e à compreensão do funcionamento da natureza. Seus esforços e contribuições foram essenciais para o avanço do conhecimento, para o desenvolvimento do mundo e da tecnologia que hoje dispomos, e também para minha formação profissional e pessoal. É indiscutível o fato de que as descobertas da ciência notaram o mundo um lugar melhor. Os avanços na medicina e na economia, impulsionados pela física, por exemplo, trouxeram para a maioria das pessoas uma qualidade de vida muito superior à vida em outras épocas.

Portanto, faz-se indispensável expressar gratidão as pessoas cujo incansável trabalho contribuiu imensamente para o avanço do conhecimento e o desenvolvimento da humanidade. Seus esforços não apenas moldaram o mundo em que vivemos, mas também influenciaram positivamente as vidas de muitos, incluindo a minha.

Enfim, minha sincera gratidão a todos!

RESUMO

A Astronomia é uma importante área da ciência que se conecta a diversas outras áreas do conhecimento e contribuiu para o desenvolvimento de muitas tecnologias. No Ensino Médio, os conteúdos sobre astronomia estão inseridos na disciplina de física e são pouco explorados, em parte devido à limitação do tempo das aulas e à falta de formação adequada dos professores, material didático e outros fatores. No entanto, a Astronomia é uma disciplina interdisciplinar que se conecta a várias outras disciplinas, como Matemática, Física, Química, História, Biologia e Literatura. Portanto, é uma disciplina importante não apenas pelo seu conteúdo, que tem auxiliado na compreensão do universo, mas também por sua interdisciplinaridade, que proporciona aos alunos uma visão integrada do conhecimento. Com base nisso, este trabalho busca contribuir com ideias para o ensino de Astronomia no Ensino Médio por meio de experimentos de baixo custo, fundamentados na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Neste caso, foram desenvolvidos dois experimentos de baixo custo, um sobre a expansão do universo e o outro sobre a curvatura do espaço-tempo. Eles foram aplicados numa turma do ensino médio. Para avaliar o impacto dos experimentos no interesse dos alunos pelo tema, um questionário foi aplicado. Como um dos resultados, obtivemos que a estratégia de ensino através de experimentos de baixo custo se mostrou bastante eficaz. Além disso, verificou-se que os alunos têm interesse e curiosidade sobre a Astronomia.

Palavras-chave: Expansão do universo. Curvatura do espaço-tempo. Ensino médio. Experimentos de baixo custo.

ABSTRACT

Astronomy is an important area of science that connects to various other fields of knowledge and has contributed to the development of many technologies. In high school, astronomy topics are embedded within the physics curriculum and are often underexplored, partly due to time constraints in classes, lack of adequate teacher training, teaching materials, and other factors. However, astronomy is an interdisciplinary discipline that intersects with several other subjects, such as mathematics, physics, chemistry, history, biology, and literature. Therefore, it is an important discipline not only for its content, which has aided in the understanding of the universe, but also for its interdisciplinary nature, providing students with an integrated view of knowledge. Based on this, this work seeks to contribute ideas for teaching astronomy in high school through low-cost experiments, grounded in Ausubel's theory of meaningful learning. In this case, two low-cost experiments were developed, one on the expansion of the universe and the other on the curvature of space-time. They were applied in a high school class. To assess the impact of the experiments on students' interest in the subject, a questionnaire was administered. One of the results showed that the teaching strategy using low-cost experiments proved to be quite effective. Additionally, it was found that students have interest and curiosity about the topic of astronomy.

Keywords: Universe expansion. Space-time curvature. High school. Low-cost experiments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação artística da curvatura do espaço-tempo.....	30
Figura 2: Simulação computacional comparando as previsões da Teoria de Newton com Einstein sobre o fenômeno do periélio de Mercúrio.....	31
Figura 3: A deflexão de um raio de luz vindo de uma estrela distante ao passar nas proximidades do sol.....	31
Figura 4: Fotografias de galáxias, e medidas de distâncias e desvio para o vermelho.....	33
Figura 5: Gráfico da lei de Hubble; associa a distância de uma galáxia ao aumento de sua velocidade.....	34
Figura 6: Mapa da radiação de fundo feita pela sonda espacial Planck.....	36
Figura 7: Alunos tirando dúvidas sobre o experimento e marcando os pontos.....	38
Figura 8: Alunas realizando as medidas e anotações de distância dos pontos.....	38
Figura 9: Alunos realizando o experimento Curvatura do Espaço-tempo.....	40
Figura 10: Porcentagem de alunos que já participaram de aula experimental.....	41
Figura 11: Porcentagem de alunos que afirmaram gostar da aula experimental.....	42
Figura 12: Avaliação dos alunos da aula experimental.....	43
Figura 13: Experimento que os alunos mais gostaram.....	44
Figura 14: Porcentagem de alunos que gostariam que houvesse mais aulas sobre astronomia.....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. O ENSINO DE ASTRONOMIA NO ENSINO MÉDIO.....	11
2.1. Ferramentas didáticas usadas no ensino de Astronomia	14
2.2. A Importância da experimentação no ensino de Física	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
4. ALGUNS CONCEITOS BÁSICOS DE RELATIVIDADE GERAL.....	27
4.1. Curvatura do espaço tempo.....	29
4.2. Expansão do universo.....	32
5. METODOLOGIA.....	37
6. RESULTADOS E ANÁLISES	41
7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
8. REFERÊNCIAS	48
APÊNDICE I: Roteiro experimento “Expansão do Universo”.	52
APÊNDICE II: Roteiro experimento “Curvatura do espaço-tempo”.	61
APÊNDICE III: QUESTIONÁRIO: Avaliando a aula experimental.	69

1. INTRODUÇÃO

O ensino de Física muitas vezes ainda prioriza a aprendizagem mecânica, que ocorre por meio de memorização sem significado e compreensão dos conceitos físicos. Essa abordagem frequentemente se apoia em formulações matemáticas aplicadas a situações conhecidas. Esse tipo de ensino contribui para a descaracterização da disciplina da Física enquanto ciência, uma vez que negligencia sua preocupação fundamental. Além disso, esse enfoque restritivo não permite que se explore plenamente o potencial da Física na geração de novas fontes de energia, criação de novos materiais, produtos e tecnologias. Portanto, é fundamental reconhecer que uma abordagem adequada do ensino da Física nas escolas deve ser orientada pela compreensão do mundo, entendendo-a como uma disciplina essencial para a compreensão e interpretação do universo em seu sentido mais amplo.

A busca por superar esse modelo de educação levou ao desenvolvimento de algumas teorias pedagógicas, como por exemplo, a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, que foi utilizada como referencial teórico para este trabalho. Na teoria da aprendizagem significativa, a interação entre conhecimentos novos e prévios é a característica fundamental da aprendizagem significativa. Nessa interação, o novo conhecimento deve se relacionar de maneira não arbitrária e substancial com o que o aprendiz já sabe, e o aprendiz deve estar predisposto a aprender. A aplicação da metodologia de aprendizagem significativa na disciplina de Física pode contribuir significativamente para o processo de ensino e aprendizagem dos estudantes. Ao relacionar os conceitos físicos com situações do cotidiano e experiências pessoais dos alunos, é possível tornar o aprendizado mais relevante e incentivar o engajamento dos estudantes na disciplina.

Este trabalho, tendo como base a teoria da aprendizagem significativa, busca contribuir para um ensino significativo e duradouro de Astronomia, que está inserida na disciplina de Física. A metodologia foi a criação de experimentos de baixo custo a serem utilizados como ferramentas pedagógicas. Um desses experimentos foi o de “Curvatura do Espaço-tempo”, e o outro foi a "Expansão do Universo", com os quais os estudantes puderam visualizar a representação de dois fenômenos importantes dentro da área da Física e da Astronomia: a expansão do universo e a gravidade como curvatura do espaço-tempo provocada pela presença de um corpo massivo.

Faz-se necessário que mais trabalhos como esse sejam desenvolvidos, uma vez que a Astronomia é uma importante ciência e é muito pouco ensinada no ensino médio. Além disso, muitos professores de física, que se formaram há alguns anos, não tiveram nenhuma disciplina sobre Astronomia durante a graduação, o que causa certa dificuldade para esses professores quando precisam abordar astronomia no ensino médio. Logo, esses professores comprometidos com a educação podem encontrar em trabalhos como este, ideias para desenvolver suas próprias abordagens e estratégias de ensino que promovam a aprendizagem significativa.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: No tópico 2 é tratado o ensino de astronomia no Brasil, não apenas com relação ao ensino médio, mas também são apresentados alguns dados relacionados ao ensino de astronomia no ensino superior. Nesse mesmo tópico, também abordamos algumas ferramentas didáticas que podem ser usadas no ensino de astronomia, bem como a importância dos experimentos no ensino de física.

No tópico 3, encontra-se o referencial teórico, onde a teoria da aprendizagem significativa é apresentada como uma abordagem pedagógica que visa tornar o processo de aprendizagem mais relevante e significativo. São discutidos o criador e os principais contribuidores para o desenvolvimento desta teoria, bem como, as principais características e a importância da teoria para o ensino, incluindo a estruturação do conhecimento, a conexão com o conhecimento prévio dos alunos, as condições necessárias para que ocorra a aprendizagem significativa, bem como seus benefícios e desafios.

O tópico 4 apresenta alguns conceitos básicos sobre a relatividade geral e a expansão do universo. Ele começa com uma breve discussão sobre a gravidade segundo Newton e avança até a concepção e formulação da relatividade geral por Einstein, na qual a gravidade ganha o significado de curvatura do espaço-tempo. Também são apresentadas a teoria do Big Bang, a descoberta das primeiras evidências que indicavam um universo em expansão, a lei de Hubble e a cosmologia inflacionária.

No tópico 5, é abordada a metodologia do desenvolvimento do trabalho, ou seja, a metodologia da aplicação dos experimentos em sala de aula, como foi a participação dos alunos nos experimentos e a coleta de dados por meio da aplicação de um questionário. E por fim, o tópico 6 apresenta as análises e resultados da aplicação dos experimentos. Nesse tópico, analisamos se os experimentos funcionaram como ferramentas de ensino e se foram bem-sucedidos. Também exploramos o comportamento e as dificuldades dos alunos.

2. O ENSINO DE ASTRONOMIA NO ENSINO MÉDIO

A Astronomia, como uma disciplina interdisciplinar, está conectada a diversas outras áreas do conhecimento, tais como Física, Química, Biologia e História. Essa interdisciplinaridade proporciona aos alunos uma visão integrada do conhecimento. Além disso, a Astronomia impulsiona o avanço tecnológico, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias como antenas, espelhos e telescópios, bem como detectores de raio-x, utilizados em áreas como ciências espaciais, meteorologia e medicina. A evolução tecnológica proveniente da Astronomia também tem um impacto significativo em campos como pesquisa biomédica e ciências dos materiais, resultando em aplicações práticas, como sensores de luz fraca e infravermelho utilizados em diagnósticos médicos.

No contexto da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), a Astronomia está inserida na área de Ciências, mais precisamente na unidade temática Terra e Universo. Nessa unidade, os objetos de aprendizagem abrangem a composição, estrutura e localização do Sistema Solar no Universo, a relação entre Astronomia e cultura, a possibilidade de vida humana fora da Terra, as ordens de grandeza astronômica e a evolução estelar. Nas competências específicas, objetiva-se que o aluno construa e utilize interpretações sobre a dinâmica da vida, da Terra e do cosmos, reconhecendo os processos de transformações e evolução que permeiam a natureza em diferentes escalas. Especificamente na competência 2, têm-se temas relacionados ao funcionamento e evolução do universo, modelos cosmológicos; astronomia, gravitação, mecânica newtoniana entre outros.

De acordo com a BNCC, se tratando da unidade temática Terra e Universo e a competência específica 2, há o objetivo que o estudante desenvolva as seguintes habilidades:

1. Descrever a composição e a estrutura do Sistema Solar (Sol, planetas rochosos, planetas gigantes gasosos e corpos menores), assim como a localização do Sistema Solar na nossa Galáxia (a Via Láctea) e dela no Universo (apenas uma galáxia dentre bilhões)”.
2. Relacionar diferentes leituras do céu e explicações sobre a origem da Terra, do Sol ou do Sistema Solar às necessidades de distintas culturas (agricultura, caça, mito, orientação espacial e temporal etc.).
3. Selecionar argumentos sobre a viabilidade da sobrevivência humana fora da Terra, com base nas condições necessárias à vida, nas características dos planetas e nas distâncias e nos tempos envolvidos em viagens interplanetárias e interestelares.

4. Analisar o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) baseado no conhecimento das etapas de evolução de estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta.
5. Analisar as diversas formas de vida, desde o nível molecular até a biosfera, considerando as condições ambientais e limitações, tanto na Terra quanto em outros planetas.
6. Desenvolver explicações e previsões sobre os movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo, utilizando a análise das interações gravitacionais como base.

No ensino médio, a Astronomia está integrada à disciplina de Física, que, devido à sua abrangência, aborda uma variedade de temas não diretamente relacionados à Astronomia. Conforme observado por Dias e Rita (2008), com apenas duas aulas semanais, os professores de Física da rede pública frequentemente enfrentam dificuldades para abordar todos os conteúdos necessários, o que resulta na negligência da Astronomia. Isso cria uma lacuna na formação básica de ensino.

De acordo com Langhi e Nardi, conforme citado por Vieira e Batista (2022), sugere-se a implementação da Astronomia como disciplina independente. Segundo Dias e Rita (2008), essa abordagem se faz necessária não apenas pela interdisciplinaridade que contribui para o desenvolvimento cognitivo dos estudantes, mas também porque é um tema que os atrai. Com essa implementação, os estudantes teriam uma formação básica mais completa sobre o assunto.

De acordo com o estudo de Dias e Rita (2008), verifica-se uma distorção entre os conteúdos que são ensinados e os que deveriam ser ensinados no ensino médio sobre o tema. Além disso, outros benefícios seriam a geração de empregos tanto no ensino médio quanto no superior. A necessidade de professores de Astronomia levaria ao aumento da demanda por professores mestres e doutores para ministrar cursos de pós-graduação, capacitando assim os professores a lecionar Astronomia.

Segundo Langhi e Nardi (2005), há uma deficiência na formação de professores, com cursos de graduação que oferecem pouco ou nenhum conteúdo de Astronomia. Isso resulta em dificuldades para os docentes ensinarem o assunto de forma eficaz. Para que o professor desenvolva um bom trabalho nessa área, é essencial que ele conheça e compreenda bem os conteúdos que serão objeto de sua atuação. O trabalho de Dias e Rita (2008) confirma que, principalmente devido à carência de professores qualificados para lecionar Astronomia, os

estudantes apresentam deficiências até o final do ensino médio, deixando de dominar conteúdos essenciais que deveriam ser ensinados desde o ensino fundamental.

Conforme apontado por Langhi e Nardi (2010), autores que têm investigado o ensino de Astronomia, o primeiro curso formal de graduação nessa área no Brasil surgiu em 1958, na antiga Universidade do Brasil. No entanto, ao longo do tempo, esses cursos perderam sua influência. Com o decreto de 1942, durante o Estado Novo, houve alterações no sistema educacional, resultando na remoção da astronomia e cosmografia como disciplinas específicas.

Nos anos 60, várias instituições de ensino superior que ofereciam cursos em física, engenharia e matemática incluíam a astronomia apenas como disciplina optativa, uma realidade que persiste até hoje em algumas instituições desse nível, embora em número relativamente limitado. De acordo com Langhi e Nardi (2010), citando o estudo realizado por Bretones (1999), apenas 54 cursos abrangem a disciplina específica de Astronomia como conteúdo integral, distribuídos em 46 instituições de ensino superior em todo o país, sendo 67% públicas e 33% particulares. Sobre essa questão, Langhi e Nardi (2010) consideram que, apesar das reformas educacionais ocorridas, na maioria dos cursos, a formação de professores em ciências ainda mantém uma proximidade maior com as abordagens adotadas nos anos 1970.

As pesquisas realizadas em 2022 com 236 cursos de licenciatura em Física no Brasil revelam que 153 desses cursos (64,8%) ofereciam disciplinas de Astronomia. Dentro desse grupo de 153 cursos, em 76 (49,7%) a disciplina era optativa, enquanto em 77 (50,3%) ela era obrigatória. Por outro lado, entre o total de 236 cursos, 83 (35,2%) deles não incluíam a disciplina de Astronomia em sua grade curricular. Vale ressaltar que, entre as diversas modalidades de instituições de ensino, os Institutos Federais (IF) são os que mais ofertam a disciplina de Astronomia. Isso possibilitou que, em 2020, 80% dos professores de Física formados nos IF tivessem acesso à disciplina, sendo que em mais da metade desses casos a disciplina foi obrigatória. No entanto, as instituições de ensino privadas foram as que mais formaram professores de Física em 2020, conforme apontado por Slovinsck, Brito e Massoni (2023).

Comparando com um estudo semelhante realizado em 2020 sobre a oferta de disciplinas relacionadas à Astronomia nos cursos de licenciatura em Física, observa-se uma diminuição na oferta de disciplinas optativas e uma falta de oferta em alguns cursos. Isso

indica um aumento no número de cursos em que tais disciplinas se tornaram obrigatórias. Dos docentes formados em 2020, estima-se que quase 43% tenham tido acesso à disciplina de forma obrigatória, o que representa um aumento significativo em comparação com o ano de 2019, quando esse número era de apenas 24,1%, representando um aumento de aproximadamente 80%.

Embora o curso de Física seja aquele que mais oferece acesso a disciplinas relacionadas à Astronomia, observa-se que as licenciaturas em Química e Biologia formaram 60% e 20% mais professores no ano de 2020, respectivamente. Essa constatação evidencia ainda mais o déficit de professores de Física, principalmente na rede pública, como destacado por Slovinsck, Brito e Massoni (2023).

Uma vez que há professores de Química e Biologia nas escolas que acabam ensinando Física, e que os conteúdos sobre Astronomia vistos por esses docentes durante sua formação são mínimos ou inexistentes, conforme apontado por Slovinsck, Brito e Massoni (2023), é evidente que existem deficiências no ensino de Astronomia. Portanto, há uma grande necessidade de políticas públicas voltadas para a formação inicial e continuada dos professores, especialmente no que diz respeito à Física, e ainda mais intensamente no caso de Química e Biologia.

A seguir, iremos descrever algumas ferramentas didáticas encontradas na literatura que já foram utilizadas para o ensino dos conteúdos relacionados a Astronomia.

2.1. Ferramentas didáticas usadas no ensino de Astronomia

As ferramentas didáticas fornecem meios pelos quais os professores podem enriquecer suas aulas, tornando-as mais divertidas, interessantes e compreensíveis para os alunos, facilitando assim a promoção de uma aprendizagem duradoura. A seguir, daremos exemplos de alguns desses tipos de ferramentas didáticas.

a) Jogos de cartas

Uma ferramenta de ensino interessante que encontramos na literatura foram três jogos didáticos de cartas desenvolvidos e aplicados por Miranda e colaboradores (2016): “Responde

ou Passa – Astronomia, “Jogos dos Astros” e “Sorte ou Azar na Astronomia”. Aplicados em uma escola pública do Estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de preparar os alunos do Ensino Fundamental para participarem da Olimpíada Brasileira de Astronomia.

Os jogos foram confeccionados com materiais de baixo custo e fácil aquisição, utilizando computador, impressora e plastificadora. Os temas abordados foram "Origem do Universo", "Corpos Celestes", "Pontos Cardeais", "Estações do Ano", "Solstício e Equinócio", "Movimentos da Terra", "Fases da Lua" e "Eclipses". Além disso, incluía um questionário com oito questões com o objetivo de avaliar a usabilidade, compreensão e clareza das regras.

O jogo "Responde ou Passa - Astronomia" é um jogo de perguntas e respostas que conta com 72 cartas com diferentes níveis de dificuldade e pontuação. Para aplicar esse jogo, o professor divide a sala em grupos e atua como mediador, retirando as cartas e fazendo perguntas para o grupo determinado. Neste jogo, as cartas são divididas em 4 pilhas correspondentes à sua pontuação. Os alunos acumulam pontos positivos e negativos correspondentes às pontuações das cartas, definidas entre -4 e 4 pontos, caso acertem ou errem a questão. No final, é feita a contagem dos pontos e determinada a equipe vencedora.

O "Jogo dos Astros" é composto por um tabuleiro com 20 casas e 70 cartas, podendo ser jogado de forma individual ou em equipe. O objetivo do jogo é atingir a última casa do tabuleiro. Para isso, o jogador deve lançar um dado de 6 faces para determinar a quantidade de casas que pode avançar. No entanto, antes de avançar, ele deve retirar uma carta e responder corretamente à questão que ela contém, vence o jogo a equipe que chegar primeiro a última casa do tabuleiro.

O jogo "Sorte ou Azar na Astronomia" é composto por 72 cartas, sendo 22 de "sorte" ou "azar", e 50 cartas numeradas de pergunta. Os jogadores, em grupos de 3 a 5 pessoas, organizam a ordem do jogo lançando um dado. Cada grupo recebe 6 cartas de perguntas. O primeiro jogador lê uma pergunta em voz alta e responde. O professor atua como mediador, verificando se a resposta está correta; se sim, o jogador cumpre o que pede a carta do lado certo. Se a resposta estiver errada ou não souber a resposta, o jogador deverá cumprir o que a carta pede do lado errado ou usar uma carta de "sorte ou azar" e cumprir o que ela pede sem retroceder. Vence o jogo o grupo que acabar primeiro com suas cartas.

O resultado do questionário, aplicado pelos autores nas referidas turmas, mostrou que os jogos tiveram boa aceitação por parte dos alunos das turmas onde foram aplicados. Os resultados da análise do questionário mostraram que 89,1% dos alunos consideraram que as regras dos jogos foram claras, 90,7% disseram que as perguntas eram objetivas, 69,8% afirmaram que o visual do jogo era agradável, 90,7% disseram que o jogo estava de acordo com os conteúdos estudados, 41,1% afirmaram que o tempo das partidas era satisfatório, e 56,6% afirmaram que haviam compreendido facilmente os jogos utilizados.

Embora os jogos sejam classificados como jogos de fixação de conceitos, devido ao fato de que o jogo depende do conhecimento prévio do aluno e não há construção de conhecimento, os autores do trabalho consideraram que os resultados foram satisfatórios. Isso se deve à obtenção da aprovação dos alunos, além do aumento no número de alunos classificados para participarem das Olimpíadas de 2014 e um aumento no número de medalhas obtidas em relação ao ano anterior, (Miranda, Gonzaga, Costa, Freitas e Côrtes, 2016).

b) Simulações Computacionais

Outra ferramenta que pode ser utilizada como material didático para o ensino de astronomia são as simulações computacionais. Um exemplo disso é o *software Stellarium*, que simula um planetário no computador. Ele permite visualizar o céu noturno em diferentes locais e momentos, com ele é possível mostrar estrelas, planetas, constelações, nebulosas e outros objetos celestes. Durante 6 anos, o *Stellarium* foi utilizado em diferentes atividades educacionais e de divulgação científica de Astronomia. Esse trabalho envolveu diferentes públicos, incluindo escolas estaduais e municipais, centros universitários, universidade aberta à Terceira Idade, escolas situadas dentro de um Centro de Detenção Provisória, minicursos, apresentações em eventos e transmissões no YouTube (Domingo e Teixeira, 2021).

As apresentações utilizando o software foram usadas para contextualizar conceitualmente os conhecimentos abordados de duas formas. Inicialmente, os fenômenos e definições que ultrapassam o alcance observacional e material dos alunos. Em seguida, situar as questões que motivaram a formulação de hipóteses, levando ao desenvolvimento de teorias científicas.

Segundo os autores do trabalho, as atividades com emprego do *software Stellarium* são uma ferramenta didática que pode ser utilizada em aulas. As atividades desenvolvidas em diferentes instituições envolveram pessoas com diferentes graus de escolaridade, desde o ensino fundamental ao superior, de jovens a idosos, mostraram que o uso de simulações computacionais pode ser usado em diferentes níveis de ensino.

Entrevistas conduzidas com professores e estudantes destacaram que o uso de simulações desperta uma curiosidade genuína e o desejo de aprofundar o conhecimento sobre os temas apresentados. Portanto, ferramentas como o *software Stellarium* são recursos valiosos que podem enriquecer significativamente os processos de ensino e aprendizagem (Domingo e Teixeira, 2021).

c) Jogos RPG

Um outro exemplo de ferramenta didática são os jogos RPG. Um exemplo é o que foi desenvolvido por Mahlow e colaboradores (2020). Nesse caso, a história escolhida para ser abordada no RPG para o ensino de astronomia foi uma caça ao tesouro, um tema que explorava os conceitos de Astronomia, uma vez que esses conceitos eram determinantes para a navegação. Com a história definida, o enredo foi elaborado de forma interdisciplinar, com aspectos que pudessem estar associados à navegação. O próximo passo foi a criação dos personagens da história, com suas características, habilidades e informações individuais, aspectos importantes para a interpretação dos mesmos. Essas informações foram reunidas em Cartas de Personagem (Mahlow, Scalvi, Scalvi e Ramos, 2020).

A aventura criada pelos referidos autores se passa no século XVI e conta com 6 personagens e 7 missões, além de enigmas a serem resolvidos. As funções de cada personagem foram determinadas de forma que houvesse trabalho em equipe, sendo a escolha dos personagens para cada aluno feita pelo professor. Para que o jogo pudesse ser aplicado em uma sala com muitos alunos, o papel do professor, que seria o mestre que narra a história e interpreta diversos personagens, ao invés disso, foi de atribuir missões e avaliar a conclusão dos objetivos das missões. Dessa forma, foi possível ter diversos grupos e os alunos desempenharam o papel dos personagens da história

Foram feitos dois livretos para o jogo: o primeiro foi o Manual do Professor e o segundo as instruções para jogar. Esses livretos retratam todos os itens no jogo, incluindo as

cartas de personagens com suas respectivas características particulares, como nome, idade, local de nascimento e história, além de fornecer um passo a passo sobre como jogar cada missão.

Os resultados da aplicação do RPG em sala de aula foram considerados com base nos dados de um questionário, indicando que o jogo teve um efeito positivo. Os alunos consideraram o jogo como didático, divertido, interessante, promovendo o trabalho em equipe e estimulando o raciocínio lógico. Os autores consideram que os objetivos de aprendizagem foram alcançados e que o jogo funcionou de forma interdisciplinar. A partir dos dados, os autores obtiveram que aproximadamente 95% dos alunos afirmaram que o jogo poderia ser utilizado em sala de aula. Logo, o RPG em questão mostra-se como uma ferramenta didática capaz de contribuir para promover o ensino (Mahlow, Scalvi, Scalvi e Ramos, 2020).

d) Experimentos de baixo custo

Uma quarta e última categoria de ferramentas didáticas que separamos para citar aqui são os experimentos de baixo custo. O ensino de Astronomia pode se beneficiar da utilização de experimentos de baixo custo como instrumento pedagógico, capaz de facilitar e motivar o aprendizado de diversos temas astronômicos. Esses experimentos, que podem variar amplamente e depender apenas da criatividade do professor, representam uma estratégia especialmente eficaz para ambientes com recursos limitados, uma vez que fazem uso de materiais de fácil obtenção.

Podemos citar como exemplo de experimento de baixo custo o experimento “Estações do Ano”. Esse experimento trata-se de uma maquete demonstrativa que pode ser feita com materiais baratos como papelão, isopor, papel, espeto de madeira e uma lâmpada comum. Nesse experimento, a lâmpada é posta no centro da estrutura e quatro representações da Terra são posicionadas em posições opostas para representar a posição da Terra em relação ao Sol nas estações do ano (primavera, verão, outono e inverno). Esse experimento é usado para mostrar qual é a posição da Terra em relação ao Sol em diferentes épocas do ano para os hemisférios norte e sul, bem como a relação que as estações têm com a inclinação da Terra (Santos, Gonçalves e Piassi, 2018).

Outro exemplo de experimento de fácil produção e aplicação é a “Caixa das Fases da Lua”. Um experimento simples que pode ser feito com uma caixa de papelão, uma fonte de

luz e uma bolinha que pode ser feita com papel para representar a Lua. Nesse experimento, a “Lua” é posicionada no centro da caixa, na qual são feitos furos posicionados em cada lado da caixa na mesma altura da “Lua”, e um furo é feito na parte superior para que a fonte de luz ilumine a bolinha dentro da caixa. Quando a pessoa observa a bolinha no interior da caixa através dos furos laterais, percebe que apenas uma parte dela está iluminada, observando algo semelhante às fases da Lua.

A elaboração de experimentos de baixo custo tem como propósito facilitar a compreensão dos temas abordados, tornando-os mais acessíveis aos estudantes. Além disso, busca-se estimular o interesse e a curiosidade dos alunos, promovendo uma abordagem na qual o aluno possa buscar desenvolver e testar hipóteses para problemas encontrados. Como o nosso trabalho também envolve o uso da experimentação, iremos na próxima subseção falar um pouco da importância da experimentação no ensino de física.

2.2. A Importância da experimentação no ensino de Física

A Física desempenha um papel fundamental em nossa vida cotidiana, sendo uma ciência de grande importância desde seus primórdios. Atualmente, essa disciplina continua a se desenvolver, influenciando todas as áreas da ciência e possibilitando a criação de tecnologias que melhoram nossa qualidade de vida. Diante de sua relevância social, é crucial que a Física seja uma parte indispensável da formação de cada indivíduo. O ensino deve destacar não apenas as leis, equações e conceitos científicos, mas também as interconexões com outras áreas do conhecimento e sua aplicação prática na vida diária.

Dada a sua importância, faz-se necessário a adoção de uma estratégia de ensino que promova uma aprendizagem duradoura, onde os conceitos apresentados serão realmente assimilados pelos alunos. Com isso, o uso de experimentos surge como uma metodologia que pode ser aplicada para tornar as aulas de Física mais atrativas. O uso de experimentos que promovam a participação ativa dos alunos contribui para facilitar uma aprendizagem mais aprofundada, despertando a atenção, curiosidade e interesse, além de proporcionar uma aproximação do conteúdo ensinado com sua realidade.

Além de destacar a importância de experimentos no ensino de Física, Moraes e Junior (2015) também destacam o fato de que a qualidade de artigos publicados sobre a utilização de

experimentos como estratégia de ensino tem aumentado ao longo dos anos. Isso significa que essa metodologia de ensino vem ganhando importância e reconhecimento na comunidade acadêmica, que busca cada vez mais invocação de práticas educacionais para melhorar o ensino das ciências no geral.

Embora as atividades experimentais venham sendo apontadas como valiosas para a reduzir a deficiência de aprendizado, é preciso que os alunos estejam munidos de fundamentos teóricos apropriada para fazer as interpretações corretas. Quando não há o fornecimento de uma base teórica, as atividades experimentais se tornam confusas e pouco produtivas, levando os alunos a interpretar o que observam de forma errônea, conforme citado por Benfíca e Prates (2020). Dessa forma, é necessário que as aulas experimentais devam ser planejadas adotando-se uma abordagem pedagógicas onde os alunos tenham uma participação ativa, com situações problemáticas com níveis de dificuldade adequados, permitindo que os alunos aumentem seu corpo de conhecimento, onde experimentos e teoria seja conciliado, Benfíca e Prates (2020).

No entanto, é importante destacar as dificuldades enfrentadas pelos professores ao adotar essa metodologia. Entre os principais obstáculos estão o elevado número de alunos por turma e a carga horária limitada. Na rede pública, as dificuldades na implementação de práticas experimentais são agravadas pela escassez de materiais e infraestrutura adequados. Além disso, muitos professores enfrentam desafios em sua formação em relação ao conhecimento experimental. Esses fatores contribuem significativamente para as dificuldades no uso de experimentos como metodologia de ensino (Albuquerque, Souza e Costa, 2023; Pena e Filho, 2006).

Contudo, as atividades experimentais podem propiciar uma melhor aprendizagem dos conteúdos de Física, auxiliando no desenvolvimento e compreensão dos conceitos. A relação entre teoria e prática possibilita ao aluno enxergar a aproximação do conteúdo com seu cotidiano, sendo fatores essenciais para que haja uma aprendizagem significativa. Compreende-se também a necessidade de formação inicial e continuada adequada dos professores, a fim de que as atividades experimentais sejam executadas com qualidade e segurança.

Por fim, é importante destacar que é essencial promover um ensino significativo, no qual os alunos compreendam verdadeiramente os conteúdos, em vez de simplesmente decorarem fórmulas. A abordagem deve destacar a importância da Física para a resolução de

problemas do mundo real, estimulando uma compreensão duradoura e profunda da disciplina. Isso não apenas fortalece o conhecimento científico, mas também prepara os indivíduos para enfrentar desafios e tomar decisões em suas vidas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

A teoria pedagógica em que o nosso trabalho se baseou está relacionada a um conceito pedagógico proposto por David Ausubel, renomado psicólogo da educação. O principal objetivo de sua teoria é tornar o processo de aprendizado mais relevante e significativo para os alunos. De acordo com Ausubel (1963, p. 58), "a aprendizagem significativa é o mecanismo humano, por excelência, para adquirir e armazenar a vasta quantidade de ideias e informações representadas em qualquer campo de conhecimento". Essa abordagem visa promover a construção ativa do conhecimento por meio da conexão entre os conteúdos estudados e as vivências pessoais e prévias dos alunos.

Na metodologia de aprendizagem proposta por David Ausubel, o conhecimento é estruturado e integrado de maneira a estabelecer relações coerentes com os conceitos já presentes na mente do estudante. Segundo Moreira (2011), a psicologia de Ausubel destaca que o fator mais crucial influenciando a aprendizagem é o conhecimento prévio do aprendiz, ou seja, sua estrutura cognitiva. Essa abordagem enfatiza a análise da estrutura cognitiva existente, baseando a educação no que o aprendiz já sabe. Neste caso, é essencial que seja identificado os conceitos fundamentais do que será ensinado e que seja utilizado os recursos e princípios que facilitem a aprendizagem significativa.

De acordo com Ausubel, conforme citado por Moreira (2011), o conceito central da Aprendizagem Significativa é a incorporação substantiva de conceitos, de forma não arbitrária e com significado. Isso implica na compreensão, transferência e na capacidade de explicar, transferir, descrever e lidar com situações novas. A ênfase está na construção de um conhecimento que não apenas seja retido, mas que também seja compreendido e aplicado de maneira significativa.

A Aprendizagem Significativa envolve o esforço consciente de conectar novos conhecimentos aos conhecimentos prévios na estrutura cognitiva do aluno, chamados de subsunçores ou ideias-âncora. Segundo Moreira (2010), esses conhecimentos prévios não são arbitrários, mas específicos, proporcionando uma base para analisar e atribuir significado aos novos conhecimentos adquiridos, seja por recepção ou descoberta. Essa interação pode resultar na aquisição de novos significados ou na maior estabilidade cognitiva dos conhecimentos prévios. De acordo com Novak, conforme citado por Lemos (2011), a aprendizagem significativa possibilita ao aluno desenvolver autonomia intelectual, de usar o

conhecimento em novas aprendizagem e interação com a realidade, tornando o indivíduo mais capaz de construir resposta para novos problemas.

Por exemplo, o conceito prévio de movimento pode servir como subsunçor para o conceito de força, facilitando a compreensão de que a força é uma grandeza que influencia o estado de movimento de um corpo. Esse conhecimento de força, por sua vez, pode enriquecer e ampliar o entendimento do conceito prévio de movimento. A interconexão de conceitos, como força levando a outros, como tipos de força e energia, torna o aprendizado mais abrangente e significativo. Assim, os subsunçores tornam-se conceitos fundamentais que abrangem uma ampla gama de tópicos no estudo da Física e contribuem para uma compreensão mais profunda e integrada.

Além da importância da estrutura cognitiva, Moreira (2010) destaca duas condições para a aprendizagem significativa. A primeira condição ressalta que o material didático deve ser significativo, ou seja, relacionar-se logicamente com a estrutura cognitiva do aluno e interagir com seus subsunçores. A segunda condição envolve a predisposição do indivíduo para aprender.

Lemos (2011) enfatiza que é dever do professor identificar o conhecimento prévio do aluno sobre o assunto, em seguida, escolher, estruturar e criar o material educacional e, analisar se os significados compartilhados estão alinhados com os conceitos aceitos no âmbito da disciplina, reformulando-os de maneira diferente, caso o aluno ainda não tenha compreendido os conceitos desejados. Sobre a segunda condição, o mesmo enfatiza que, caso não haja intencionalidade do aluno em aprender de forma significativa, ou seja, relacionando a nova informação com sua estrutura cognitiva, não haverá material educacional que seja potencialmente significativo que promova a aprendizagem.

Quando os alunos não possuem subsunçores necessários a nova aprendizagem, faz necessário a utilização de organizadores prévios. De acordo com Moreira (2010), não existe uma definição clara do que seja um organizador prévio, trata-se de um recurso que o professor faça uso para suprir a necessidade de conhecimentos prévios, neste sentido, organizadores prévios podem ser uma aula ou leitura introdutória, um filme, uma demonstração, simulações etc., a condição é que os organizadores prévios sejam mais gerais e abrangentes que os material de aprendizagem. Há outras situações em que esse recurso é útil, quando o aluno não percebe a conexão entre o que ele sabe, e o que está prestes a aprender, nesses casos, os organizadores prévios mostram a relacionabilidade e discriminação, em outras palavras, trata-

se de compreender a interconexão entre os conhecimentos recém adquiridos e os pré-existentes, assim como identificar suas distinções.

Para a aprendizagem significativa ocorra, faz-se necessário que o professor tenha uma noção dos conhecimentos do aluno a respeito do conteúdo prestes a ser ensinado, um recurso associado a aprendizagem significativa que pode ser usado para essa identificação são mapas conceituais. Segundo Peña (2005), mapa conceitual é uma técnica criada por Joseph D. Novak, que o representa como “estratégia”, “método” e “recurso esquemático”, que pode favorecer educadores e estudantes no processo de aprendizagem significativa.

Para Tavares (2007), “O mapa conceitual é uma estrutura esquemática para representar um conjunto de conceitos imersos numa rede de proposições. Ele é considerado como um estruturador do conhecimento, na medida em que permite mostrar como o conhecimento sobre determinado assunto está organizado na estrutura cognitiva de seu autor, que assim pode visualizar e analisar a sua profundidade e a extensão”. Nesse sentido, o mapa conceitual pode ser usado para avaliar o saber do aluno em determinado assunto, uma vez que reflete as conexões cognitivas do aluno.

Na proposta de Novak, a construção de um mapa conceitual considera uma estrutura hierárquica, onde os conceitos mais abrangentes ficam na parte superior da estrutura, conforme citado por Tavares (2007) e Peña (2005). Nessa proposta, considera-se que os conceitos estão organizados tanto por diferenciação progressiva, na qual um determinado conceito é desdobrado em outros conceitos, como por reconciliação integrativa, na qual um conceito é relacionado a outro. Dessa forma, os mapas conceituais revelam a estrutura cognitiva do indivíduo, na qual se verifica as relações que ele estabelece entre conceitos.

Com isso, os mapas conceituais servem de avaliação não apenas para explorar a estrutura cognitiva dos estudantes, como também podem ser utilizados para identificar os subsunçores necessários a aprendizagem significativa e, determinar os organizadores prévios e o material potencialmente significativo que serão usados para promover a aprendizagem significativa, como cita Moreira (2012). Além disso, os mapas conceituais podem ser utilizados para verificar indícios de aprendizagem significativa, com base na comparação entre mapas conceituais feitos antes e depois da apresentação do conteúdo a ser ensinado.

Para Gomes e colaboradores (2019), os mapas conceituais oferecem benefícios consideráveis para facilitar e fortalecer a aprendizagem significativa. Os educadores podem

aproveitar essa ferramenta avaliativa para identificar de forma eficaz a ocorrência desse tipo de aprendizado entre os alunos.

Na disciplina de Física, é comum priorizar a aprendizagem mecânica, baseada na memorização de fórmulas sem compreensão dos conceitos físicos. Essa abordagem muitas vezes se apoia em formulações matemáticas aplicadas a situações conhecidas, resultando na falta de integração do novo conhecimento com os conceitos pré-existentes na estrutura cognitiva. Um currículo centrado na memorização e reprodução de regras cria uma visão educacional que pressupõe que a natureza e seus fenômenos são sempre repetitivos e idênticos.

A aprendizagem mecânica não apenas contribui para a descaracterização da disciplina de Física como ciência, ao negligenciar sua preocupação fundamental, mas também limita a exploração do potencial da Física na geração de novas fontes de energia, criação de materiais inovadores e desenvolvimento de tecnologias. Portanto, é crucial reconhecer que uma abordagem eficaz no ensino de Física nas escolas deve ser orientada pela compreensão do mundo, percebendo-a como uma disciplina essencial para a interpretação e compreensão do universo em seu sentido mais amplo.

Como já citado anteriormente, a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel destaca a interação crucial entre conhecimentos novos e prévios como fundamental para o processo de ensino. Essa interação requer uma conexão não arbitrária e substancial entre o novo conhecimento e o que o aprendiz já sabe. Na disciplina de Física, aplicar essa metodologia pode aprimorar o aprendizado dos estudantes. Relacionar os conceitos físicos a situações cotidianas e experiências pessoais torna o aprendizado mais relevante, incentivando o engajamento.

A conexão de princípios físicos com fenômenos naturais, tecnologias e elementos da rotina dos estudantes facilita a compreensão. Além disso, valorizar a resolução de problemas e a reflexão crítica, como propor situações-problema para aplicar os conceitos, estimula o pensamento analítico e a capacidade de encontrar soluções, características essenciais no estudo da Física.

Em síntese, ao adotar os princípios da Aprendizagem Significativa, o ensino de física pode se tornar uma alternativa promissora. A abordagem destaca-se pela vantagem de utilizar fenômenos físicos e tecnologias presentes no mundo cotidiano dos alunos, integrando seus

conhecimentos prévios. Assim, o ensino de Física por meio da Aprendizagem Significativa surge como uma oportunidade de quebrar o ciclo de fracasso escolar, proporcionando uma compreensão mais contextualizada e significativa da disciplina.

4. ALGUNS CONCEITOS BÁSICOS DE RELATIVIDADE GERAL

A gravidade é uma das forças mais conhecidas e estudadas da Física, descrita matematicamente pela primeira vez pelo físico e matemático inglês do século XVII, Isaac Newton, e publicada em sua famosa obra "Principia". Nessa obra, Newton fornece as bases do cálculo matemático e teórico para a descrição dos fenômenos físicos mecânicos, estabelecendo as leis que governam os movimentos dos objetos e suas causas e consequências, no conjunto de equações e leis que hoje conhecemos como mecânica clássica de Newton.

Newton estabelece que a interação entre objetos acontece através de forças, grandezas físicas com direção, sentido e intensidade, representadas por vetores. Segundo essa teoria, a ação de uma força gera uma aceleração na mesma direção e sentido, cuja intensidade depende da resistência do objeto a esse movimento, um conceito trazido da mecânica de Galileu e definido como massa inercial. Além dessa lei, há a lei da inércia, que afirma que um corpo altera seu estado de movimento apenas sob a ação de uma força, e a lei da ação e reação.

Entre as mais importantes contribuições de Newton está a sua lei da gravitação universal. Não entraremos nos detalhes matemáticos e conceituais que levaram Newton à formulação dessa lei; falaremos apenas um pouco sobre ela. A lei da gravitação universal foi definida como a força atrativa de interação mútua entre um corpo de massa M e outro corpo de massa m , sendo proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Essa força estaria sempre presente em corpos massivos e é matematicamente definida como:

$$\vec{F}_g = \frac{GMm}{r^2} \hat{r} \quad (1)$$

Onde \vec{F}_g representa a força gravitacional, r é a distância entre os dois corpos, \hat{r} é o versor (vetor unitário) que aponta ao longo da linha que conecta as duas massas, e G é a constante gravitacional de Newton. Além disso, ela atuaria não apenas na superfície da Terra, mas também se estenderia aos demais corpos celestes, governando as órbitas dos astros.

A teoria fez muito sucesso na época de Newton pois explicava os movimentos dos planetas e suas órbitas, incluindo outros corpos mais distantes como cometas. Em adição, Newton também provou que sua teoria da gravidade era capaz de reproduzir as leis de Kepler do movimento planetário. Contudo, a teoria também trazia alguns problemas, por exemplo,

ela não explicava perfeitamente a órbita do planeta Mercúrio e a independência do tempo do potencial gravitacional ϕ . Neste último exemplo, a expressão que relaciona o potencial gravitacional ϕ com a fonte, descrita por uma densidade de massa ρ_m é a seguinte:

$$\nabla^2 \phi = 4\pi G \rho_m. \quad (2)$$

Onde ∇^2 é o operador diferencial Laplaciano, definido por derivadas parciais de segunda ordem, que em termos de coordenadas cartesianas pode ser escrito como:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}. \quad (3)$$

Vale notar que essa formulação não inclui nenhum fator temporal, o que tornava a gravidade uma força de atuação instantânea mesmo em distâncias muito grandes. Isso implicava que a informação do campo gravitacional era transmitida com uma velocidade infinita. Newton estava ciente desse problema, além do fato de não ter sido capaz de apontar a causa da gravidade, ou seja, como a massa gera a gravidade.

Somente em 1915, com a publicação da teoria da relatividade geral por Albert Einstein, a situação mudaria. Essa teoria é uma generalização de sua outra teoria publicada 10 anos antes, chamada de teoria da relatividade especial. A relatividade especial tratava da mecânica do movimento em referenciais inerciais com velocidades próximas à da luz ou iguais a c , tendo como base o eletromagnetismo de Maxwell e o espaço quadridimensional ou espaço-tempo de Minkowski. Essa teoria evidenciava a incompatibilidade entre o eletromagnetismo, no qual as informações se propagam em forma de ondas com velocidade limitada, e a mecânica de Newton e a relatividade de Galileu, onde o tempo é absoluto. No entanto, a teoria da relatividade especial não veio para descartar a física newtoniana e galileana, mas mostrou que a relatividade de Galileu e a física de Newton tinham uma aplicação limitada a baixas velocidades.

Durante a construção da teoria da relatividade geral, Einstein já sugeriu que a origem da gravidade deveria ser a energia-momento. Nos anos finais da conclusão da teoria, percebeu que a equação do movimento para uma partícula teste consistia em uma geodésica e, portanto, a gravidade gerava efeitos que eram explicados como consequências de uma geometria curva.

Essa geometria curva, por sua vez, influencia a trajetória dos objetos. Einstein foi capaz de escrever uma equação de campo para a gravidade em termos de geometrias curvas. Nessa formulação final, o campo gravitacional teria origem em toda forma de massa e energia, que, ao curvar o espaço-tempo, influencia a trajetória da matéria e energia. Dessa forma, a relatividade geral preenchia a lacuna da instantaneidade da comunicação da força e fornecia uma fonte para a gravidade.

4.1. Curvatura do espaço tempo

O primeiro indicativo para Einstein de que o problema da origem da fonte da gravidade estava relacionado a uma geometria curva, veio em 1914, com o trabalho de reformulação da segunda teoria de Nordstrom sobre a gravidade, onde este relacionava o campo gravitacional a massa/energia. Nesse trabalho, a equação do movimento para uma partícula, consistia em uma geodésia, com uma métrica $g_{\mu\nu}$ que descreve um espaço-tempo curvo dada por

$$g_{\mu\nu} = \Phi^2 \eta_{\mu\nu}. \quad (4)$$

Onde $\eta_{\mu\nu}$ é a métrica de Minkowski, Φ^2 é o potencial gravitacional.

Uma geodésica descreve a menor distância entre dois pontos em uma geometria curva. Dessa forma, os efeitos da gravitação são entendidos como uma consequência da curvatura da geometria do espaço-tempo, resultando na modificação do percurso de partículas. Em 1913, Einstein publicou, juntamente com seu amigo, o matemático Marcel Grossmann, um trabalho que generalizava a equação anterior do movimento ao perceber que em um espaço-tempo quadridimensional, tratava-se do princípio da ação mínima de Hamilton, que determinava o movimento de partículas teste em um campo gravitacional.

$$\delta \int ds = \delta \int \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2} = 0. \quad (5)$$

Onde o comprimento próprio seria dado por:

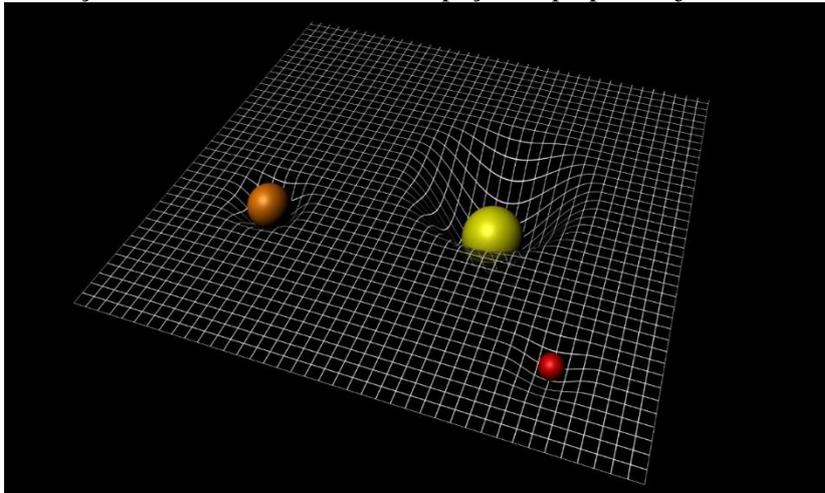
$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu. \quad (6)$$

Mais alguns avanços com aplicação de cálculo tensorial, levaram a formulação equação de campo de Einstein:

$$R_{\mu\nu} - \frac{R}{2} g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}. \quad (7)$$

Que relaciona a geometria a curvatura do espaço-tempo a matéria/energia, uma vez que nessa equação, temos do lado esquerdo o tensor de curvatura de Ricci $R_{\mu\nu}$, o escalar de Ricci, R , e a métrica $g_{\mu\nu}$, do lado direito o tensor de energia-momento $T_{\mu\nu}$, dessa forma, o espaço-tempo absoluto de Newton passa a ser um espaço-tempo maleável, que se deforma de acordo com a massa dos objetos.

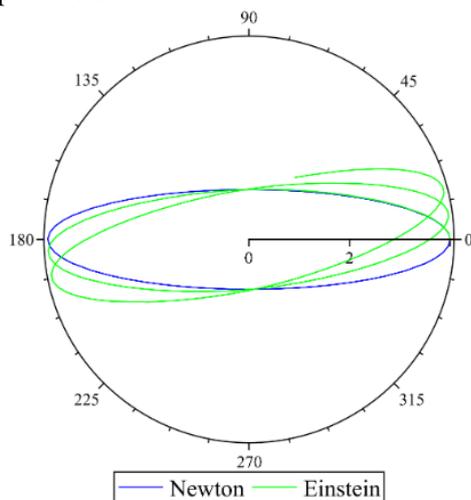
Figura 1: Representação artística da curvatura do espaço-tempo para objetos com diferentes massas.



Fonte: Site da agência espacial europeia (ESA).

Essa formulação da gravidade apresentava um notável resultado, previa as anomalias existentes na órbita de Mercúrio, para as quais Newton sugeriu a existência de um outro planeta mais próximo do Sol, que influenciava Mercúrio.

Figura 2: Simulação computacional comparando as previsões da Teoria de Newton com as de Einstein sobre o fenômeno do periélio de Mercúrio.



Fonte: J. D. Toniato, 2020.

Einstein propôs alguns testes para sua teoria, como a deflexão da luz em proximidade de corpos com grande massa, o desvio para o vermelho gerado por um campo gravitacional em uma onda eletromagnética, o atraso de Shapiro e a existência de ondas gravitacionais, sendo a deflexão da luz a primeira predição testada e confirmada da relatividade geral.

Figura 3: A deflexão de um raio de luz vindo de uma estrela distante ao passar nas proximidades do sol.



Fonte: O. F. Piattella, 2020.

4.2. Expansão do universo

No início do século XX, começaram a surgir algumas evidências diretas de que o Universo possivelmente não era estático como se pensava. Entre elas estão as análises espectroscópicas feitas pelo astrônomo Vesto M. Slipher, que percebeu que a luz vinda da galáxia de Andrômeda tinha linhas espectrais deslocadas para o azul, espectro de menor comprimento de onda. Isso significava, de acordo com o fenômeno conhecido como Efeito Doppler, que Andrômeda estava se aproximando da Terra. Slipher fez medidas de outras galáxias e notou que a grande maioria mostrava um deslocamento para o vermelho das linhas espectrais, ou seja, estavam se afastando da Terra. Ele também fez estimativas das velocidades relativas dessas galáxias.

O efeito Doppler para a radiação eletromagnética é descrito pela seguinte equação:

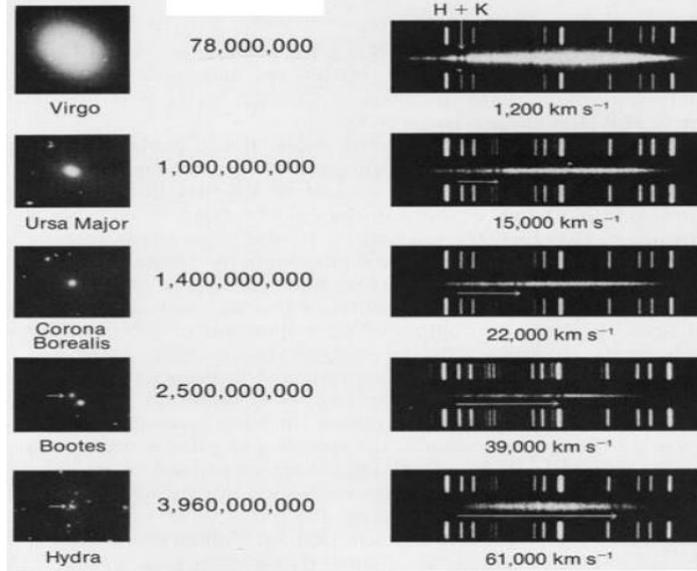
$$z = \frac{\lambda_{\text{observado}} - \lambda_{\text{emitido}}}{\lambda_{\text{emitido}}} = \frac{v_e}{c}. \quad (8)$$

Onde c é a velocidade da luz, $\lambda_{\text{observado}}$ é o comprimento de onda observado, λ_{emitido} é o comprimento de onda no referencial da fonte, v_e é a velocidade da fonte em relação ao observador, e z é o desvio para o vermelho, velocidades positivas indicam z positivo, e correspondem ao afastamento da fonte em relação ao observador.

Edwin Powell Hubble foi um dos astrônomos mais proeminentes no estudo das galáxias. Em 1929, Hubble já havia feito estimativas das distâncias das galáxias em relação à Terra, baseando-se em estrelas variáveis cefeídas. Ele foi responsável pelo primeiro resultado observacional que indicava que o universo estava em expansão. Ampliando suas medidas de distância e combinando esses resultados com as medidas do desvio para o vermelho feitas por Milton Humason, Hubble percebeu a existência de uma relação linear entre a distância e o desvio para o vermelho. Na Figura 4 podemos ver a desvio para o vermelho de algumas galáxias, feitas no observatório Palomar na Califórnia, as galáxias estão na primeira coluna e são identificadas pelo aglomerado em que estão (elas são as galáxias mais brilhantes de cada aglomerado), a coluna do meio expressa a distância em anos-luz. Na terceira coluna está o desvio das linha H ($\lambda = 3968 \text{ \AA}$) e K ($\lambda = 3934 \text{ \AA}$), do elemento químico cálcio no primeiro estado ionizado, que estão indicados abaixo de cada espectro como velocidades, calculadas a

partir da expressão do desvio Doppler não relativista usando $v = cz$, onde c é a velocidade da luz no vácuo.

Figura 4: Fotografias de galáxias, distâncias e desvio para o vermelho.



Fonte: SOARES. D, 2020.

Hubble percebeu que o desvio para o vermelho, $\Delta\lambda$, eram sempre valores positivos em relação ao vermelho, e que, portanto, o comprimento de onda observado era sempre maior que o comprimento de onda normal emitido e, esse desvio linearmente aumentava com a distância; fato que ficaria conhecido como Efeito Hubble, que só poderia ser explicado por um Universo em expansão, estabelecendo então uma lei que indica que a razão entre essas duas grandezas resulta em uma constante, a lei de Hubble. A relação entre desvio para o vermelho e distância foi definida como:

$$cz = H_0 d ; \quad H_0 = \text{constante.} \quad (9)$$

Utilizando a relação para baixas velocidades onde $v_e = cz$, chega-se à lei de Hubble:

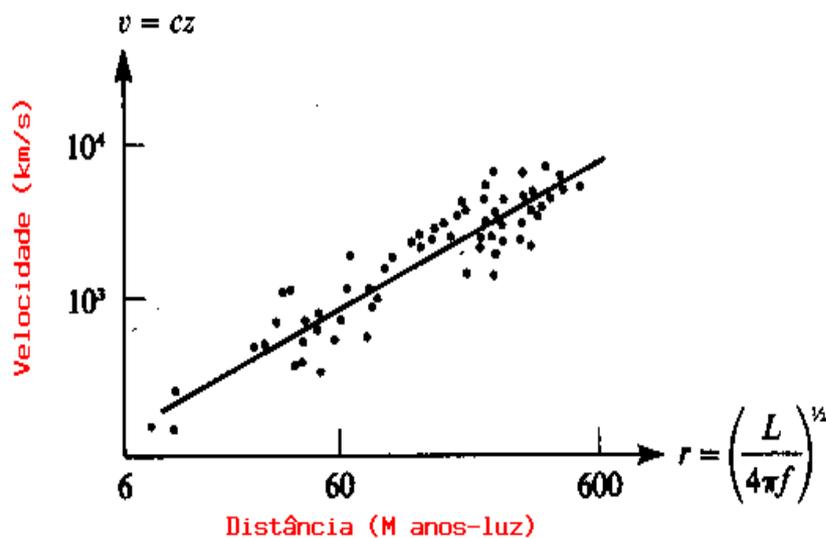
$$v_e = H_0 d. \quad (10)$$

Onde H_0 é a constante de Hubble e, v_e é a velocidade da fonte no instante da emissão, ou seja, no passado do observador. A lei de Hubble, foi posteriormente definida como:

$$v(t) = \dot{H}(t)d(t). \quad (11)$$

A diferença entre as equações dar-se primeiro que, na equação 11, as quantidades são funções do tempo em um instante t , H_0 que passa a ser $H(t)$, passa a ser denominado parâmetro de Hubble, d tem o sentido convencional de distância, e a velocidade que aparece na lei é denominada velocidade de recessão, que é a taxa de variação da distância de uma galáxia em relação ao tempo. Na figura 5 temos um gráfico da lei de Hubble.

Figura 5: Gráfico da lei de Hubble: Quanto mais distante a galáxia maior sua velocidade.



Fonte: OLIVEIRA, Kepler; SARAIVA, Maria; 2013.

O fato de que o resultado visto na Figura 5 independe da direção em que a observação é feita é uma consequência da homogeneidade e isotropia do Universo. A homogeneidade implica que todos os pontos do espaço são equivalentes, enquanto a isotropia significa a igualdade de todas as direções em um determinado ponto. No entanto, se todos os pontos são equivalentes, isso resulta na igualdade de todas as direções em qualquer ponto. Esse fato nos leva a ideia de que não há centro no Universo, ou, que qualquer ponto do Universo pode ser central.

Antes da publicação do trabalho de Hubble, já eram conhecidos modelos do Universo em expansão baseados na relatividade geral. O primeiro deles foi o modelo de Sitter, publicado em 1917 pelo astrônomo holandês Willem de Sitter. Esse modelo mostrava que era possível, com base na relatividade geral, ter modelos dinâmicos para o Universo, nos quais a

velocidade de afastamento dos objetos aumentaria com a distância, fenômeno que ficou conhecido como "efeito de Sitter".

Em 1922, o físico soviético Aleksander Aleksandrovich Friedmann conseguiu obter soluções das equações de Einstein que descrevem um Universo em expansão, homogêneo e isotrópico em largas escalas, com origem no passado e que passa por ciclos de expansão e contração. Outros modelos surgiram, incluindo o de George Gamow, físico soviético que, por volta dos anos 1940, desenvolveu um modelo expansivo para o Universo que ficaria conhecido como teoria do Big Bang.

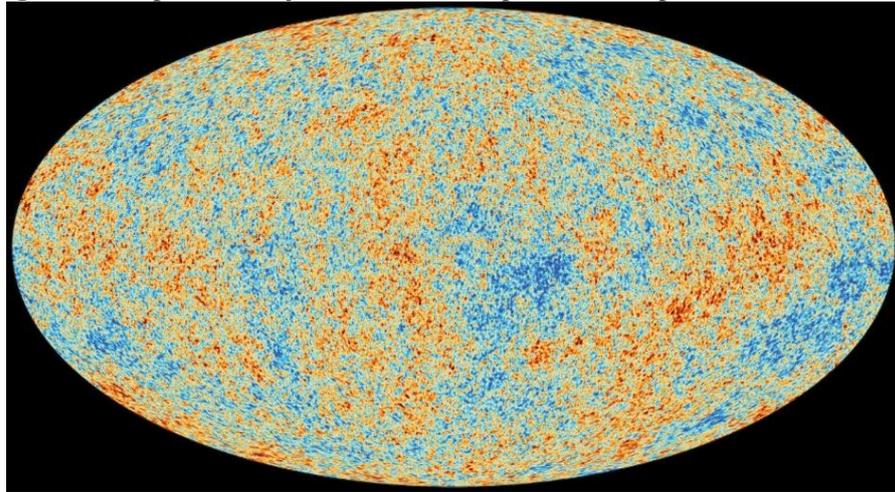
Nessa teoria, o Universo tem origem em um estado denso e quente e trazia algumas previsões sobre a origem do Universo, incluindo a existência de uma radiação com espectro de corpo negro de baixa temperatura, remanescente do Big Bang e que permeia o Universo. Tal radiação foi confirmada em 1964 por dois físicos americanos, Arno Allan Penzias e Robert Woodrow Wilson, que descobriram acidentalmente uma radiação no espectro de micro-ondas, proveniente de todas as direções. Essa foi a radiação cósmica de fundo em micro-ondas, proveniente do Universo jovem.

No entanto, existiam algumas lacunas na teoria do Big Bang, como, por exemplo, o motivo pelo qual o Universo era homogêneo e espacialmente plano, e a origem das flutuações da radiação cósmica de fundo, responsáveis pela formação de estruturas em larga escala. A proposta para solucionar esses problemas veio do físico americano Alan Guth, que propôs a inflação cósmica. Nessa proposta, logo após o Big Bang, o Universo passou por um período de rápida expansão acelerada em um curto período de tempo antes da era da radiação, daí o nome "inflação".

Na cosmologia inflacionária, o Universo surge com o Big Bang e passa por um período exponencial de inflação. Segundo a teoria, o mecanismo responsável pela expansão do Universo é um campo escalar espacialmente homogêneo, com potencial de auto-interação, chamado ínflaton. Durante a fase inflacionária, o campo de ínflaton domina a densidade de energia do Universo. Nessa fase, a energia que preenche o universo teria pressão negativa. Essa pressão negativa produz uma forma repulsiva de gravidade. Um fato interessante é que, segundo as equações que governam a inflação, ela ocorre quando o potencial do ínflaton é aproximadamente plano.

A teoria também prevê flutuações quânticas no campo escalar. Com a conservação dessas perturbações empurradas pela inflação, surgem estruturas em larga escala, como galáxias. Estas estariam relacionadas às variações observadas da radiação cósmica de fundo em micro-ondas. Essas variações, ou anisotropias, são ilustradas no mapa mais recente feito pela sonda Planck mostradas na Figura 6.

Figura 6: Mapa da radiação de fundo feita pela sonda espacial Planck.



Fonte: Site da agência espacial europeia (ESA).

Vale ressaltar que, embora a teoria do Big Bang e a cosmologia inflacionária sejam amplamente aceitas, há cientistas, como Lucas Lombriser (2023), que propõem novas abordagens que vão além do modelo padrão. Nestes casos, utiliza-se a formulação da cosmologia no espaço de Minkowski. Neste cenário, em vez de uma expansão do espaço, curvatura espacial, inhomogeneidades e anisotropias em pequena escala, considera-se uma variação de escalas de massa, comprimento e tempo através do espaço-tempo. Como uma das consequências dessa visão cosmológica reformulada, a naturalidade da constante cosmológica é reexaminada e são explorados candidatos promissores de origem geométrica para matéria escura, energia escura, inflação e bariogênese.

5. METODOLOGIA

Sabemos que o ensino de conceitos científicos complexos muitas vezes pode ser desafiador, especialmente quando se trata de tópicos como a expansão do universo e a curvatura do espaço-tempo para alunos do ensino médio. Portanto, é crucial buscar formas de proporcionar aos estudantes a oportunidade de explorar essas ideias. Nesse contexto, o método de aprendizagem significativa, juntamente com a utilização de experimentos simples e de baixo custo, emerge como uma estratégia eficaz para tornar esses conceitos acessíveis e relevantes para os estudantes. Pensando nisso foi que desenvolvemos dois experimentos para serem realizados em sala de aula: um sobre a curvatura do espaço-tempo e outro sobre a expansão do universo. Esses experimentos foram aplicados em uma turma de segundo ano do ensino médio de uma escola pública do estado de Alagoas, que contava com vinte e quatro estudantes presentes na ocasião.

No dia da realização do experimento, começamos a aula apresentando brevemente a teoria do Big Bang e a cosmologia inflacionária. Em seguida, demos início ao experimento “Expansão do Universo” (Apêndice I). Ele consiste em utilizar balões e um marcador para representar as galáxias no universo em expansão. Os balões são inflados com o uso de uma bomba manual e marcados com pontos, representando as galáxias. À medida que os balões são inflados, os pontos se afastam uns dos outros, ilustrando a expansão cósmica.

Uma sugestão para melhorar esse experimento é, em vez de usar marcações pintadas nos balões, substituí-las por algo que seja colado nos balões, como pedaços de papel ou pequenas bolinhas de isopor. Dessa forma, temos uma representação melhor da expansão do universo, uma vez que as bolinhas pintadas aumentam de tamanho à medida que o balão é inflado.

Devido ao fato de termos apenas três bombas disponíveis para inflar os balões, dividimos a turma em três grupos. Cada grupo recebeu um roteiro experimental, uma bomba, uma régua ou fita métrica e vários balões brancos. Isso permitiu que mais de um participante em cada grupo repetisse o experimento, realizando as marcações, medições e inflando os balões. A orientação contida no roteiro, assim como a dada verbalmente durante a realização do experimento, foi que as marcações dos pontos deveriam estar algumas próximas e outras mais afastadas. Após completar esses passos, os alunos puderam comparar o aumento da distância entre pares de pontos próximos e afastados e observar que os pares que estavam

inicialmente separados por uma distância maior foram os que mais se afastaram quando o balão foi inflado.

As figuras 7 e 8 abaixo mostram os alunos realizando o experimento de expansão do universo, tirando dúvidas sobre o experimento e realizando as medidas, anotações e análise dos dados.

Figura 7: Alunos tirando dúvidas sobre o experimento e marcando os pontos.



Fonte: O Autor, 2023.

Figura 8: Alunas realizando as medidas e anotações de distância dos pontos.



Fonte: O Autor, 2023.

Após a realização do experimento “Expansão do Universo”, procedemos com a realização do segundo experimento intitulado “Curvatura do Espaço-tempo”. Este experimento visava proporcionar aos estudantes uma compreensão mais profunda do conceito de Gravidade, relacionado à teoria da relatividade geral de Einstein. O objetivo é ilustrar como a matéria curva o espaço-tempo, podendo assim alterar a trajetória das coisas, inclusive da luz.

Para a realização desse experimento, utilizamos novamente materiais de baixo custo: um bambolê de 60 cm, um tecido de lycra com as dimensões de 63x82 cm, 10 prendedores de papel de 32 mm, dois ímãs circulares, 6 luvas de cano de 25 mm e uma quantidade variável de bolinhas de gude. O roteiro experimental encontra-se no Apêndice II.

Após montar toda a estrutura para a realização do experimento, explicamos que o tecido de lycra representava o espaço-tempo do universo. Em seguida, posicionamos os ímãs no centro, representando um objeto massivo como o sol. Depois, foi lançado sobre o tecido de lycra algumas bolinhas de gude para ilustrar como elas seguem uma trajetória elíptica ao redor dos ímãs, para assim ilustrar o movimento dos planetas ao redor do Sol. Em resumo, no experimento, os ímãs representavam o Sol, produzindo a significativa deformação do Espaço-Tempo (tecido de lycra) devido à sua massa, enquanto as bolinhas de gude representavam os planetas.

Uma sugestão para este experimento é substituir os ímãs por qualquer outro objeto que seja esférico e "pesado", como as esferas de aço usadas nos rolamentos de carros. Esse tipo de esfera vem em diversos tamanhos e pode ser facilmente encontrado em oficinas mecânicas.

Em seguida, os alunos foram convidados a testar o experimento, lançando as bolinhas. Posteriormente, instruímos que removessem um dos ímãs e observassem as mudanças na trajetória e no movimento das bolinhas lançadas. Isso os permitiu perceber que uma quantidade maior de bolinhas escapava da estrutura, tornando um pouco mais difícil para elas realizar o movimento orbital. Explicamos então que quanto maior a massa do objeto, maior é a deformação causada no espaço-tempo e, conseqüentemente, maior é o desvio provocado nos corpos que se aproximam desse objeto. Por fim, destacamos que essa é a explicação para a Gravidade, de acordo com a teoria da relatividade geral de Einstein.

Embora o experimento “Curvatura do Espaço-Tempo” tenha sido montado por nós, disponibilizamos aos alunos 3 roteiros experimentais impressos (ver Apêndice II) para que

pu dessem entender a ideia do experimento, seu desenvolvimento e montagem, caso desejassem repeti-lo em outro momento. Além disso, o roteiro inclui uma breve introdução teórica sobre relatividade geral e 8 questões sobre o tema. Devido a restrições de tempo, não foi solicitado que os alunos respondessem às questões, mas elas podem ser úteis para professores que desejam utilizar este roteiro em suas aulas. Outra informação contida no roteiro, mas não apresentada aos alunos também devido à falta de tempo, é o item 10, que trata do "ponto de Lagrange". A figura 9 abaixo mostra os alunos realizando o experimento.

Figura 9: Alunos realizando o experimento Curvatura do Espaço-tempo.



Fonte: O Autor, 2023.

Após a realização dos experimentos, os alunos receberam um questionário avaliativo com um total de 5 questões (ver Apêndice III). Através deste questionário, buscamos avaliar a receptividade dos alunos em relação aos experimentos, qual deles foi mais apreciado, a percepção sobre a aula e o interesse em ter mais aulas com temas de Astronomia. Além disso, procuramos saber se os alunos já estavam familiarizados com a teoria do Big Bang e a Relatividade Geral.

6. RESULTADOS E ANÁLISES

A análise dos dados obtidos por meio do questionário é crucial para compreender o impacto dos experimentos e a receptividade dos alunos. Essa análise nos permite identificar e avaliar sua satisfação com as atividades, além de compreender melhor suas preferências e necessidades de aprendizado. Ao examinar os dados, podemos identificar áreas de sucesso e oportunidades de aprimoramento no ensino de Astronomia, garantindo que as futuras aulas sejam ainda mais eficazes e envolventes.

A primeira pergunta do questionário tinha como objetivo investigar se os alunos já haviam participado anteriormente de aulas experimentais, os resultados estão representados no gráfico 1. Conforme observado, apenas 16,66% dos alunos afirmaram ter participado de uma aula experimental, enquanto 83,33% nunca haviam participado. Esse baixo percentual é preocupante, especialmente considerando que se tratava de alunos do segundo ano do ensino médio, indicando que a grande maioria deles passou todo o primeiro ano sem qualquer atividade experimental. Essa constatação evidencia a necessidade urgente de melhorias no ensino de ciências no ensino médio público. É praticamente consenso entre os professores de física que as aulas experimentais oferecem uma explicação visual dos fenômenos, permitindo a compreensão de detalhes que muitas vezes não são claros em aulas convencionais. Dessa forma, elas contribuem significativamente para o aprimoramento do entendimento dos alunos sobre o conteúdo aplicado, sendo assim ferramentas didáticas extremamente importantes no dia a dia dos professores de física.

Gráfico 1: Porcentagem de alunos que já participaram de aula experimental.

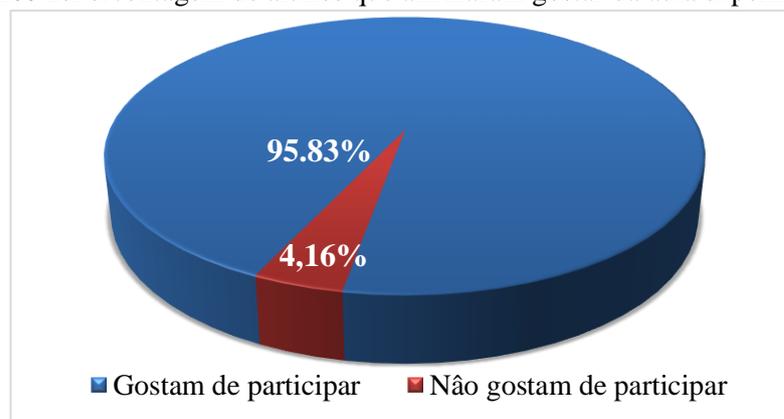


Fonte: Autor, 2023.

Além de contribuir para a compreensão dos conceitos, as aulas experimentais têm o potencial de despertar o interesse dos alunos, tornando-os mais atentos e curiosos. Esse aumento na motivação para aprender desempenha um papel crucial no desenvolvimento acadêmico dos estudantes. Contudo, para promover uma maior integração de aulas experimentais nas escolas, é fundamental reconhecer a importância dessa metodologia e fornecer o suporte necessário. Isso inclui a disponibilidade de laboratórios de ensino, materiais adequados, tempo e incentivo para que os professores de ciências desenvolvam experimentos de baixo custo. Idealmente, as salas de aula deveriam funcionar como salas/laboratórios, onde os experimentos se tornam uma parte natural e valiosa do processo de aprendizado.

A segunda pergunta do questionário visava avaliar se os alunos gostam de aulas experimentais. A partir do Gráfico 2, observamos que quase todos os alunos, precisamente 95,83%, afirmaram gostar de aulas experimentais, enquanto apenas 4,16% indicaram que não gostam. É importante ressaltar que, considerando o número total de alunos que participaram da pesquisa, esse percentual de 4,16% representa apenas um aluno. Portanto, fica evidente, pelos menos para essa turma analisada, como a realização de experimentos é algo muito positivo para ser feito nas aulas de física.

Gráfico 2: Porcentagem de alunos que afirmaram gostar da aula experimental.



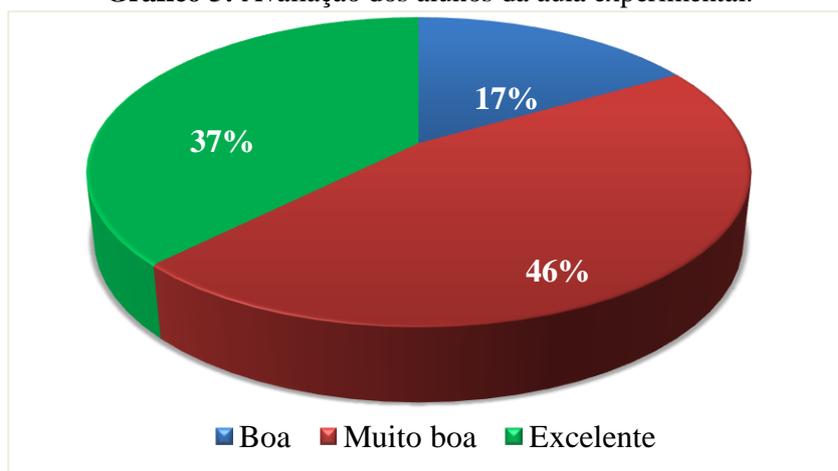
Fonte: Autor, 2023.

Através das aulas experimentais, observamos que até mesmo os alunos mais dispersos tendem a prestar mais atenção e demonstrar interesse quando um fenômeno é demonstrado em sala de aula. O Gráfico 2 revela a importância dessa metodologia de ensino, pois pode ser um importante aliado na tarefa do professor de capturar a atenção e o interesse dos alunos. Além

disso, a demonstração visual facilita a compreensão, permitindo que os alunos absorvam o conteúdo de forma mais rápida e eficaz.

A terceira pergunta do questionário foi: “O que você achou desta aula experimental sobre a curvatura do espaço-tempo e sobre a expansão do universo?”. Os resultados obtidos estão representados no Gráfico 3. De acordo com os dados, 46% dos alunos afirmaram que a aula foi muito boa, 37% a consideraram excelente e 17% a classificaram como boa. Nenhum dos alunos relatou que a aula foi ruim. Portanto, podemos concluir que os alunos apreciaram a aula experimental, mesmo aqueles que participaram menos ativamente devido à timidez. Eles acharam interessante observar a representação de fenômenos físicos em sala de aula. É importante ressaltar que a grande maioria dos alunos nunca havia participado de uma aula experimental anteriormente. Portanto, foi muito positivo ver que, já em sua primeira experiência com aulas experimentais, os alunos tiveram uma opinião tão positiva sobre a aula.

Gráfico 3: Avaliação dos alunos da aula experimental.



Fonte: Autor, 2023.

Durante a realização dos experimentos, notamos que alguns alunos eram menos participativos. Isso pode ser parcialmente explicado pelo fato de que muitos deles participaram poucas ou nenhuma vez de uma aula experimental anteriormente, como já mencionado em outras partes do texto. No entanto, com a frequência dessas atividades e a realização de diferentes experimentos, esses alunos podem se tornar mais participativos. À medida que as aulas experimentais se tornam uma parte habitual do currículo e os alunos passam a compreender melhor a dinâmica da aula, é provável que despertem um maior interesse pelo conteúdo dos experimentos.

No Gráfico 4, observamos que o experimento da curvatura do espaço-tempo foi o mais cativante para os alunos, com 70,83% expressando preferência por ele, enquanto 29,16% optaram pelo experimento da expansão do universo. O fato de os alunos terem gostado mais do experimento da curvatura do espaço-tempo pode ser atribuída à sua elaboração mais detalhada, que oferece uma visualização mais rica do fenômeno físico em questão. Além disso, o experimento da curvatura do espaço-tempo é mais familiar aos alunos, pois os ajuda a compreender a gravidade como uma deformação do espaço-tempo causada pela presença de objetos massivos, como o Sol. Um fato relevante é o paralelo estabelecido entre o experimento e o movimento dos planetas ao redor do Sol, um conceito já familiar aos alunos.

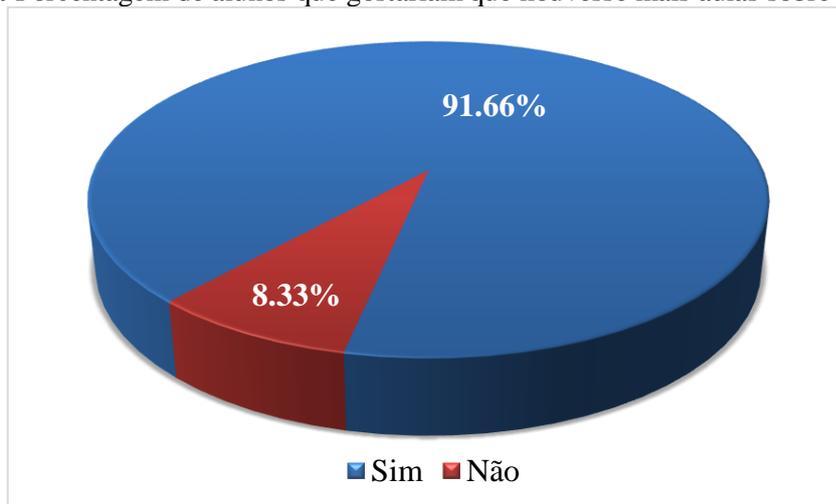
Gráfico 4: Experimento que os alunos mais gostaram.



Fonte: Autor, 2023.

Por fim, no questionário, perguntamos aos alunos se eles gostariam de ter mais aulas sobre astronomia, como a origem do universo e a formação de galáxias. Os resultados mostraram que 91,66% deles afirmaram que sim, enquanto apenas 8,33% disseram que não tinham interesse. Esses dados destacam o forte interesse dos alunos por temas relacionados à astronomia, astrofísica e cosmologia, apesar de serem temas pouco explorados em sala de aula. Essa curiosidade muitas vezes é despertada através da exposição a esses conteúdos na internet, o que os leva a buscar mais informações e a desenvolver um interesse mais profundo por esses campos do conhecimento. Introduzir esses temas na sala de aula pode servir como um catalisador para ampliar ainda mais o interesse dos alunos e incentivá-los a realizar pesquisas autônomas relacionadas ao assunto.

Gráfico 5: Porcentagem de alunos que gostariam que houvesse mais aulas sobre astronomia.



Fonte: Autor, 2023.

Uma estratégia eficaz para os professores que desejam incorporar mais conteúdos relacionados à astronomia em suas aulas é integrar esses temas ao conteúdo curricular de maneira contextualizada. Por exemplo, ao explicar como uma lei física se manifesta nos corpos celestes, como a gravidade, que influencia a formação de estrelas e planetas, ou ao abordar fenômenos específicos como os jatos de material emitidos por buracos negros, que são resultado da interação complexa entre campos magnéticos e material ionizado. Ao estabelecer essas conexões entre os conceitos estudados em sala de aula e os fenômenos observados no cosmos, os alunos podem desenvolver uma compreensão mais profunda da física e uma apreciação mais ampla do universo ao seu redor. Isso não apenas torna o aprendizado mais envolvente, mas também ajuda os alunos a perceberem a relevância e a aplicação prática dos conceitos estudados.

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apoiou-se na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e teve como objetivo contribuir com estratégias didáticas para o ensino de Astronomia, especificamente o uso de experimentos de baixo custo. Vale ressaltar que essa é apenas uma de várias estratégias que podem ser usadas com esse objetivo.

Os resultados da análise dos questionários revelaram que a maioria dos alunos dessa turma nunca havia participado de uma aula experimental anteriormente. Além disso, ficou evidente que os alunos receberam positivamente essa estratégia didática, com todos avaliando-a de forma favorável. Um ponto relevante a destacar é que a maioria dos alunos expressou interesse em ter mais aulas com temas de Astronomia. Esse interesse demonstra que há espaço para essa disciplina no currículo, não apenas pelo seu valor intrínseco, mas também por sua relevância como disciplina interdisciplinar.

Entretanto, algumas dificuldades foram identificadas em relação à realização das aulas experimentais. Em primeiro lugar, o pouco tempo disponível para cada aula impediu que todo o material presente no roteiro do experimento "curvatura do espaço-tempo" fosse apresentado, bem como que houvesse uma discussão dos resultados com os alunos. Além disso, a estrutura física da sala de aula apresentou desafios, como a falta de espaço e de materiais de apoio adequados para a realização dos experimentos. Por exemplo, para o experimento "curvatura do espaço-tempo", foi necessário improvisar uma mesa de apoio juntando duas carteiras.

Quanto aos alunos, uma dificuldade observada foi o fato de muitos deles nunca terem participado de uma aula experimental antes. Isso resultou em dúvidas e incertezas na execução dos experimentos, especialmente no caso da "expansão do universo". No entanto, esse tipo de dificuldade tende a ser superada à medida que os alunos ganham mais experiência com esse tipo de abordagem didática.

Por fim, consideramos que este trabalho apresentou resultados interessantes ao mostrar que o uso de experimentos de baixo custo no ensino de Astronomia é uma ferramenta poderosa que pode auxiliar tanto o professor quanto o aluno no processo de aprendizagem. Através dela, o docente é capaz de demonstrar visualmente alguns aspectos de como a

natureza funciona, enquanto os alunos podem compreender de forma mais geral e aprofundada o conteúdo em questão, além de perceber suas interconexões. Se, dúvida, todos esses fatores contribuem significativamente para uma aprendizagem duradoura.

8. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, p.176-194, jun. 2003

AUSUBEL, D. P. Aquisição e retenção de conhecimentos. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/livro-ausubel-pdf-free.html>.

BARBOSA, Paulo Victor Coutinho. **Aprendizagem significativa e o ensino de Física**. 2022. Monografia. UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE.

BENFÍCA, Kátia Ferreira Guimarães; PRATES, Kimelly Hanna Guimarães. As contribuições do uso de experimentos no ensino–aprendizado da física. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 33686-33703, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-066>.

Cani, R. C. (2020). NEWTON E A CAUSA DA GRAVIDADE: REALISMO E ANTIRREALISMO. **Revista Outras Fronteiras**, 6(2), 7–24.

DA GAMA, Valter Thiago Pantoja et al. Experimentação no Ensino de Ciências: um estudo bibliométrico. **Scientia Plena**, v. 19, n. 3, 2023. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2023.034407>.

DIAS, C. A. C. M., & Santa Rita, J. R. (2008). INSERÇÃO DA ASTRONOMIA COMO DISCIPLINA CURRICULAR DO ENSINO MÉDIO. **Revista Latino-Americana De Educação Em Astronomia**, (6), 55–65. <https://doi.org/10.37156/RELEA/2008.06.055>

DOMINGOS, Rafael Brock; TEIXEIRA, Ricardo Roberto Plaza. Uso do software Stellarium em atividades de ensino de astronomia. **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, v. 8, n. 1, 2021.

DOS SANTOS, Paulo Borges Viríssimo; GONÇALVES, Carolina Jürgensen; DE CARVALHO PIASSI, Luis Paulo. Experimentos de Astronomia com Materiais de Baixo Custo: ensino por investigação em espaços não formais através do projeto Banca da Ciência. **Revista do EDICC-ISSN 2317-3815**, v. 5, 2018.

ESA/Planck Collaboration. **Planck's view of the cosmic microwave background**. 17 jul. 2018. Disponível em: www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/07/Planck_s_view_of_the_cosmic_microwave_background#.ZDoBFbE_dIV.link. Acesso em: 24 out. 2023.

F OLIVEIRA, Kepler; SARAIVA, Maria. *Astronomia e Astrofísica*. 3. ed. São Paulo: **Livraria da Física**, 2013. ISBN 978-85-7861-187-3.

FERNANDES VIEIRA, Taisy; CORCI BATISTA, Michel. (2022). ANÁLISE DE INVESTIGAÇÕES SOBRE TEMAS DE ASTRONOMIA E SUAS ABORDAGENS NO ENSINO MÉDIO BRASILEIRO. *Revista Vitruvian Cogitationes*, 3(2), 1-16. <https://doi.org/10.4025/rvc.v3i2.64492>

FIGUEIRÓ, Michele Ferraz. *Inflação em modelos de gravidade generalizada: análise dinâmica e singularidades*. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GOMES, Ederson Carlos; BATISTA, Michel Corci; FUSINATO, Polônia Altoé. A utilização de mapas conceituais como instrumento de avaliação no ensino de Física. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 58–78, 2019. DOI: 10.26843/rencima.v10i3.2053. Disponível em: <https://revistapos.cruzeirodosul.edu.br/rencima/article/view/2053>. Acesso em: 21 jan. 2024.

Langhi, R., & Nardi, R. (2005). DIFICULDADES DE PROFESSORES DOS ANOS INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL EM RELAÇÃO AO ENSINO DA ASTRONOMIA. *Revista Latino-Americana De Educação Em Astronomia*, (2), 75–91. <https://doi.org/10.37156/RELEA/2005.02.075>

LANGHI, Rodolfo; NARDI, Roberto. *Ensino da astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica*. **Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Departamento de Educação**, 2010. Bauru, São Paulo, Brasil.

LEMOS, Evelyse dos Santos. A aprendizagem significativa: estratégias facilitadoras e avaliação. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v.1, n.1, p.25-35, 2011.

LOMBRISER, Lucas. Cosmology in Minkowski space. **Classical and Quantum Gravity**, v. 40, n. 15, p. 155005, 2023.

MAHLOW, Felipe Rodrigues Perche et al. Um role-playing game (RPG) pedagógico para o ensino de astronomia. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 3, p. 263-283, 2020.

MEC- Ministério da Educação e Cultura. Base Nacional Comum Curricular. Disponível em: [Início \(mec.gov.br\)](https://www.mec.gov.br/).

MIRANDA, Jean Carlos et al. Jogos didáticos para o ensino de Astronomia no Ensino Fundamental. **Scientia Plena**, v. 12, n. 2, 2016.

MOREIRA, A. MARCOS; MAPAS CONCEITUAIS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA. **Instituto de Física – UFRGS**, 2012. Porto Alegre – RS.

MOREIRA, A. MARCOS; O QUE É AFINAL APREDIZAGEM SIGNIFICATIVA? **Instituto de Física – UFRGS**, 2010. Porto Alegre – RS.

O. F. Piattella, “Introdução à relatividade geral”, *Cad. Astro.*, vol. 1, nº 1, p. 30–39, jul. 2020. <https://doi.org/10.47083/Cad.Astro.v1n1.30827>

OLIVEIRA, Márcio Marques Lopes de. O papel da experimentação no ensino pela pesquisa em Física. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) - **Pontifícia Universidade Católica do Estado do Rio Grande do Sul - PUCRS**, Porto Alegre, 2010.

ONTORIA PEÑA, Antonio; BALLESTEROS PASTOR, Ana; MARTÍN BUENADICHA, Inmaculada; MOLINA RUBIO, Ana; CUEVAS MOYAS, Carmen; VÉLEZ RAMÍREZ, Úrsula; RODRÍGUEZ TAPIZ, Alfonso. Mapas conceituais. Uma técnica para aprender. Edições Loyota. São Paulo, Brasil, 2005. ISBN 85-15-03185-X.

PENA, Fábio Luís Alves; RIBEIRO FILHO, Aurino. Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de Física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006). **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 1, 2009.

SLOVINSCKI, Luciano; ALVES-BRITO, Alan; MASSONI, Neusa Teresinha. Um diagnóstico da formação inicial de professores da área de ciências da natureza na perspectiva do ensino de astronomia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 45, p. e20230110, 2023. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0110>.

SOARES.D. “O efeito Hubble revisado”. 2020. **Departamento de Física**, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil.

TAVARES, Romero. Construindo mapas conceituais. *Ciência & Cognição*, 12. 2007.
Disponível em: <https://www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/cec/article/view/64>.
Acesso em: 21 jan. 2024.

TEIXEIRA, Elder Sales, et al. “Os caminhos de Newton para a Gravitação Universal: Uma revisão do debate historiográfico entre Cohen e Westfall. DOI: 10.5007/2175-7941.2010v27n2p215”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 27, nº 2, setembro de 2010, p. 215–54. *DOI.org (Crossref)*, <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2010v27n2p215>.

TONIATO, Junior Diniz. “De Newton a Einstein: a geometrização da gravitação”. *Cadernos de Astronomia*, vol. 1, nº 1, julho de 2020, p. 17–29. *DOI.org (Crossref)*, <https://doi.org/10.47083/Cad.Astro.v1n1.31666>.

Toribio, Alan Miguel Velasquez. História da física. Vitória: **Universidade Federal do Espírito Santo**, Secretaria de Ensino a Distância, 2012. ISBN: 978-85-8087-058-9.

UIBISON PERREIRA MORAES, Jose; JUNIOR S. SILVA, Romualdo. Experimentos didáticos no Ensino de Física com foco na Aprendizagem Significativa. *Revista Latino-Americana de Educação Física*, 2015.

WAGA, Ioav. A expansão do universo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 2, p. 163-175, 2000.

APÊNDICE I: Roteiro experimento “Expansão do Universo”.



Aluno: Wesley Rodney.

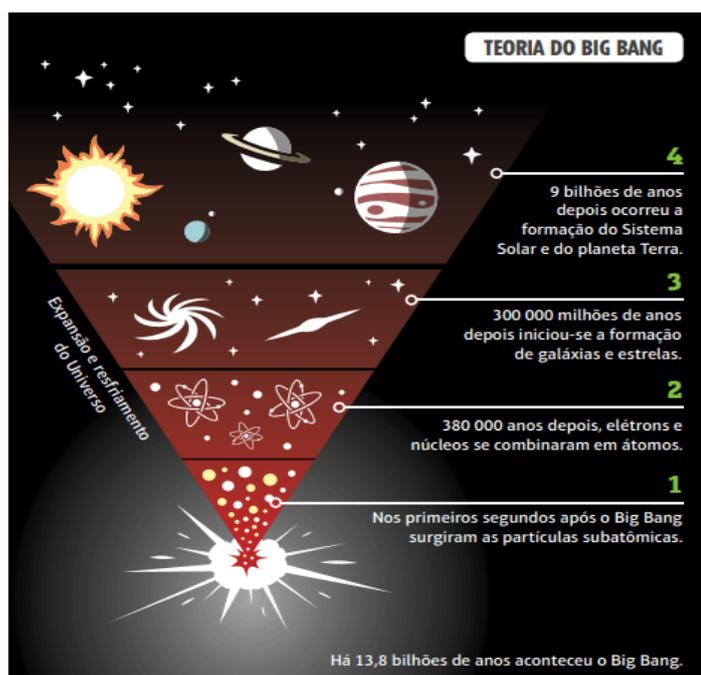
Orientador: Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva.

ROTEIRO EXPERIMENTAL: EXPANSÃO DO UNIVERSO.

I. Introdução teórica

A teoria mais conhecida, e aceita até o momento, sobre a origem e desenvolvimento do universo é a do *Big Bang* e a inflação cósmica. Nessa teoria, o “universo” existia como um ponto infinitamente quente e denso, preenchido com uma energia chamada de campo de ínflaton, no qual, uma flutuação quântica teria ocasionado o Big Bang, ou Grande Expansão (GREENE, 2005). Esse evento, que é considerada como a origem do universo, criou a matéria, a radiação e o próprio espaço-tempo. É atualmente considerado nesta teoria que no início ocorreu uma rápida expansão e resfriamento do universo. A Figura 1 mostra um esquema com a cronologia a partir do surgimento do universo até o momento atual.

Figura 4: Esquema mostrando a cronologia referente a origem do universo até seu desenvolvimento atual.

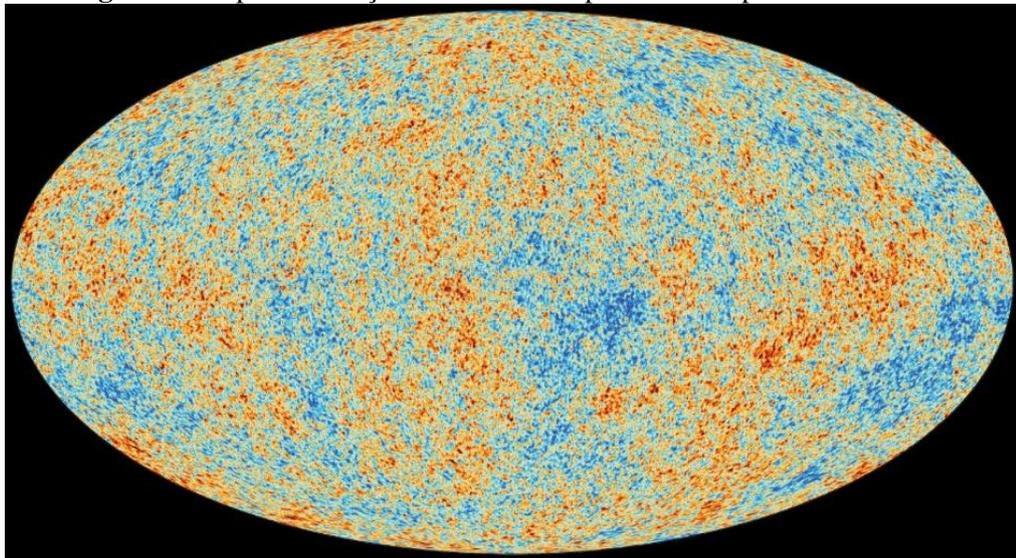


Fonte: Site coladaweb.com

A teoria do Big Bang e a inflação cósmica se tornaram famosas devido ao fato de que foram fruto de observações astronômicas, ou seja, não era algo suposto apenas no campo teórico. Uma destas previsões relacionadas ao Big Bang era de que deveria haver algum resquício do universo primitivo na forma de radiação eletromagnética (na faixa do micro-ondas), chamada de radiação de fundo, que deveria permear o universo. Além disso, o modelo da inflação previa que o universo poderia estar se expandindo. Como dissemos inicialmente, estas duas afirmações vieram a ser comprovadas através de observações astronômicas.

A radiação de fundo foi descoberta acidentalmente em 1964, pelos físicos Arno Allan Penzias e seu colega Robert Woodrow Wilson. Num determinado experimento que estavam executando com um radiotelescópio notaram que estavam detectando uma radiação que estava presente em todas as direções em que a antena era apontada. Posteriormente, com experimentos mais modernos, foi possível mapear essa radiação de fundo do universo e determinar sua temperatura média, cujo valor obtido foi de aproximadamente 2,7 K. A Figura 2 mostra um dos mapas obtidos neste tipo de medição, feita pela sonda espacial Planck, da Agência Espacial Europeia (ESA) e, publicado em junho de 2018 (Agência Espacial Europeia, 2019).

Figura 5: Mapa da radiação de fundo feita pela sonda espacial Planck.

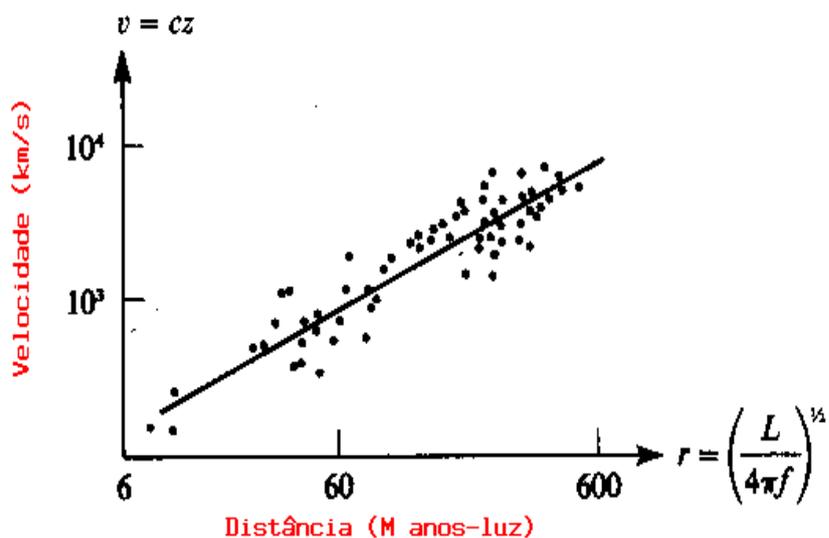


Fonte: Site da agência espacial europeia (ESA).

Já a expansão do universo foi observada inicialmente pelo astrônomo Edwin Hubble, que percebeu em 1929 que as galáxias estavam se afastando uma das outras (OLIVEIRA,

SARAIVA, 2013). Na ocasião, foi observado que quanto mais distantes estava a galáxia, maior era a sua velocidade com relação a nós, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3: Gráfico da lei de Hubble: Quanto mais distante a galáxia maior sua velocidade.



Fonte: OLIVEIRA, Kepler; SARAIVA, Maria. 2013.

II. Objetivos

Levar para os estudantes, através de um experimento simples e de baixo custo, o conceito de expansão do universo, mostrando como objetivos (pontos) se afastam à medida que o universo (representado por uma bexiga) se expande.

III. Materiais utilizados

Descrição	Quantidade
Bexiga de festa simples (cor clara)	01
Caneta preta	01
Caneta cor vermelha	01
Fita métrica de 150 cm	01
Mini bomba para inflar bexiga	01

Figura 4: Materiais utilizados.



Fonte: O Autor, 2023.

IV. Procedimentos

1. Inicialmente, pegue uma bexiga de festa, usando o lápis preto ou caneta preta, pinte algumas bolinhas, como mostrado na Figura 5, usando a caneta vermelha, faça algumas outras bolinhas, essas bolinhas vermelhas serão as que iremos escolher para fazer algumas medidas. Uma dica é pintar essas marcas de modo que alguns pontos estejam próximos e outros mais distantes.

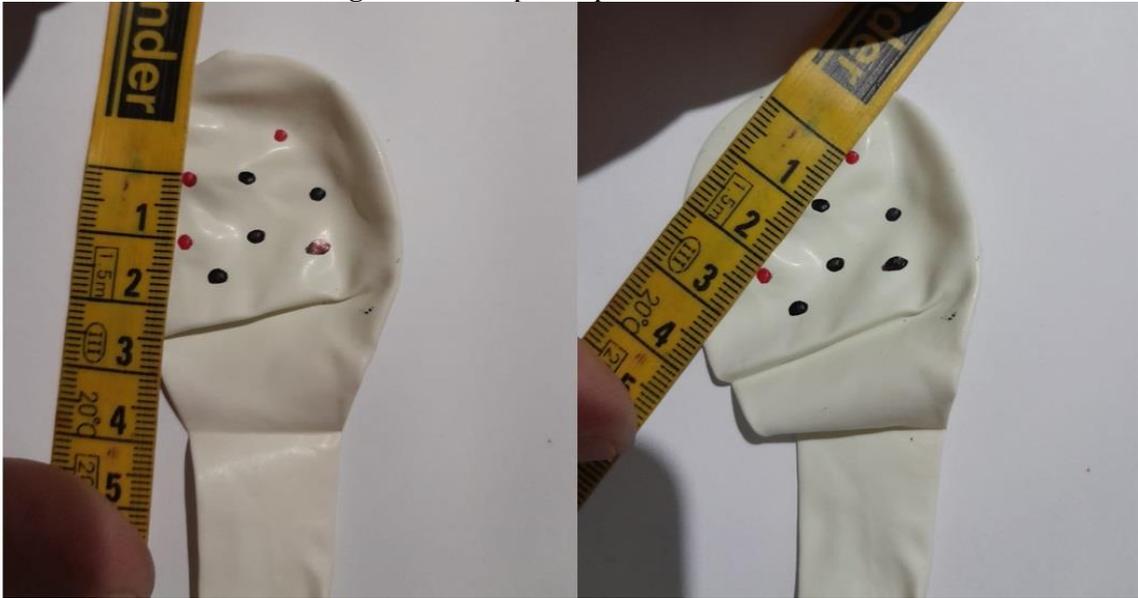
Figura 5: Pontos marcados na bexiga.



Fonte: O autor, 2023.

1. Meça com a fita métrica a distância entre as bolinhas vermelhas, sendo duas medidas diferentes, uma medida entre as bolinhas do lado esquerdo da bexiga, e, outra entre a bolinha do canto inferior esquerdo e do lado direito, como mostrado na figura 6. Anote no Quadro 1 o valor obtido.

Figura 6: Exemplo de pontos escolhidos.



Fonte: Autor, 2023.

2. Com a mini bomba para encher bexiga, encha a bexiga até um tamanho adequado (ver Figura 7,), ou seja, que permita visualizar bem os pontos, ou, caso fiquem apagados, você pode usar a caneta para reascender esses pontos, sem que estejam muito “deformados”. **Atenção:** Recomendados encher o balão com a bomba manual ao invés de usar a própria boca porque, em geral, as bexigas possuem um tipo de “talco” dentro delas para impedir que suas paredes internas grudem, que quando ingerido/inalado pode trazer riscos à saúde.

Figura 7: Bexiga inflada.



Fonte: O Autor, 2023.

3. Em seguida, usando a fita métrica, meça as distâncias entre os pontos escolhidos e, anote no quadro 1, Figura 8.

Figura 8: Medida entre os pontos 1 e 2.



Fonte: O Autor, 2023.

Quadro 1: Distância entre os pontos medidos com o a fita métrica.

Medidas com a bexiga vazia	
Distância entre os dois pontos mais próximos que foram escolhidos.	
Distância entre os dois pontos mais distantes que foram escolhidos.	
Medidas com a bexiga cheia	
Distância entre os dois pontos mais próximos que foram escolhidos.	
Distância entre os dois pontos mais distantes que foram escolhidos.	

4. Repita o procedimento anterior agora pintando duas vermelhas bolinhas ainda mais afastadas, use a fita métrica para medir a distância entre esses dois novos pontos do ponto vermelho do lado superior direito.

Figure 9: Novos pontos mais distantes escolhidos.



Fonte: O Autor, 2023.

5. Com a bomba para encher balão, encha a bexiga até um tamanho adequado (ver Figura 7), ou seja, que permita visualizar bem os pontos, caso fiquem apagados, você pode usar a caneta para reascender esses pontos, sem que estejam muito “deformados”.
Atenção: Recomendados encher o balão com a bomba manual ao invés de usar a própria boca porque, em geral, as bexigas possuem um tipo de “talco” dentro delas para impedir que suas paredes internas grudem, que quando ingerido/inhalado pode trazer riscos à saúde.
6. Feito isso, use a fita métrica para medir distância que repara esses dois novos pontos do ponto superior direito vermelho depois que a bexiga foi inflada.

Figura 10: Bexiga inflada com a medida dos pontos.



Fonte: O autor, 2023.

7. Tiradas as medidas, anote no Quadro 1 os valores obtidos.
8. Durante o processo de inflar a bexiga e medir as distâncias que separam os pontos com a bexiga cheia, devemos interpretar o que acontece com a bexiga fazendo a comparação com a expansão do universo e a lei de Hubble.

V. Questões

1) Você já tinha ouvido falar sobre a expansão do universo?

() Sim. onde? _____

() Não.

2) O experimento apresentado o ajudou a compreender como a expansão do universo ocorre?

() Sim.

() Não.

Justifique a sua resposta: _____

3) Com relação as distâncias medidas entre as bolinhas pintadas, antes e após a bexiga ter sido enchida, podemos afirmar que:

() As distâncias se mantiverem as mesmas.

() As distâncias aumentaram, sendo que as que estavam mais distantes ente si no início, ficaram ainda mais distantes após a bexiga ter sido enchida.

4) Interprete os resultados obtidos no Quadro 1 de acordo com a lei de Hubble (Figura 3).

5) Podemos dizer que o universo possui um centro? Com base no experimento que foi realizado, elabore uma resposta para isto.

() Sim.

() Não.

Justifique a sua resposta: _____

VI. Referências bibliográficas

ESA/Planck Collaboration. **Planck's view of the cosmic microwave background**. 17 jul. 2018. Disponível em:

www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/07/Planck_s_view_of_the_cosmic_microwave_background#.ZDoBFbE_dIV.link. Acesso em: 14 abr. 2023.

F OLIVEIRA, Kepler; SARAIVA, Maria. **Astronomia e Astrofísica**. 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2013. ISBN 978-85-7861-187-3.

GREENE, Brain. **O Tecido do Cosmo: O espaço, o tempo e a textura da realidade**. 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2005. ISBN 978-85-359-0759-9. p 224-228.

MOUTINHO, Wilson. **Teoria do Big Bang**. 2020-2023. Disponível em:

<https://www.coladaweb.com/astronomia/big-bang>. Acesso em: 14 abr. 2023.

APÊNDICE II: Roteiro experimento “Curvatura do espaço-tempo”.



Aluno: Wesley Rodney.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva.

ROTEIRO EXPERIMENTAL: CURVATURA DO ESPAÇO-TEMPO.

I. Introdução teórica

A gravidade, é uma das quatro forças fundamentais da natureza. Nosso entendimento a respeito dessa força esteve há muito tempo atribuído ao físico inglês Isaac Newton (1643-1726), na formulação conhecida como lei da gravitação de Newton: “dois corpos com massa sofrem a ação de uma força atrativa proporcional ao produto de suas massa e inversamente proporcional a distância entre eles”. Essa lei era válida para todos os corpos do universo com massa. Mas havia um problema, Newton não sabia explicar a origem da gravidade, sobre isso, ele escreveu em seu trabalho intitulado de *Principia* (GREENE, 2001).

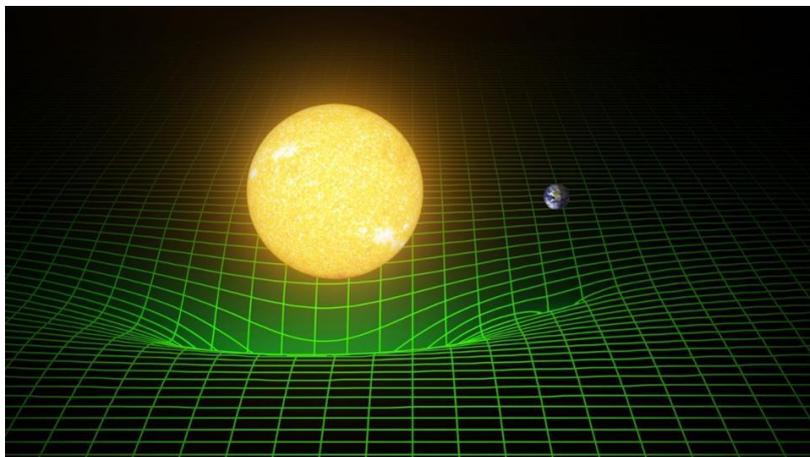
Mas até então não consegui descobrir a causa dessas propriedades da gravidade a partir dos fenômenos, e não faço hipóteses. Para algo que não seja deduzido a partir dos fenômenos é chamado de hipótese; e

hipóteses, se ou físicas, se de qualidades ocultas ou mecânicas não têm lugar na filosofia experimental. Nesta filosofia, proposições particulares são inferidas a partir dos fenômenos e a partir de então tornadas gerais por indução (NEWTON, tradução para o português).

Essa lacuna seria preenchida muito tempo depois, quando em 1916, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955), publicou a teoria da relatividade geral. Nessa teoria, a gravitação era descrita como a ação das massas nas propriedades do espaço e do tempo, que por sua vez, afetava o movimento dos objetos e outras propriedades. Na relatividade geral, a gravidade é a

distorção do espaço-tempo pela presença de matéria ou energia, ou seja, a matéria modificava a forma do espaço-tempo, curvando-o, e essa curvatura, seria a responsável pela gravidade, algo parecido com o que é mostrado na Figura 1.

Figura 1: Curvatura do espaço-tempo.



Fonte: No site universoracionalista.org.

Com essa hipótese, Einstein fornecia uma explicação para a gravidade, que até então, estava em aberto desde a teoria da gravitação de Newton. Assim, a teoria da relatividade geral implicava que, objetos com grande quantidade de matéria como o Sol, por exemplo, causavam uma distorção maior que objetos com menos matéria como a Terra ou a Lua, mas mesmos esses objetos, também geravam sua própria distorção do espaço-tempo. Além disto, implicava que objetos mais leves que se moviam próximos a objetos maiores, deveriam ter a trajetória de seu movimento alteradas de acordo com a distorção do espaço-tempo gerada por esse objeto, e o limite da área até onde essa distorção do espaço-tempo se estendia era o chamado campo gravitacional. De forma mais geral, a teoria da relatividade geral afirmava que todo objeto, e até mesmo a luz, deveria ter sua trajetória desviada na presença de um campo gravitacional intenso.

A previsão de que um raio de luz teria sua trajetória desviada, ao passar próximo a um corpo massivo, foi confirmada em 1919 na ocasião de um eclipse solar total, onde alguns astrônomos mediram a posição de estrelas à direita e à esquerda do sol e, comparando com medidas das mesmas estrelas feitas seis meses antes, quando elas eram visíveis a noite, verificou-se que as estrelas pareciam mais distantes umas das outras, isso implicava que a luz proveniente dessas estrelas haviam sido desviadas pelo campo gravitacional do sol, confirmando a teoria (OLIVEIRA, SARAIVA, 2013)³. A teoria da relatividade geral também foi capaz de descrever com precisão o deslocamento do periélio de Mercúrio e, além disso,

implicava a existência de buracos negros e de ondas gravitacionais, que teriam sua existência confirmadas posteriormente.

II. Objetivos

Mostrar aos alunos, através de um experimento simples e de baixo custo, o conceito de curvatura do espaço-tempo e, como isso afeta o movimento de objetos no espaço.

III. Materiais utilizados

Descrição	Quantidade
Bambolê de 60 cm	01
Bolinhas de gude	Variável
Tecido de Lycra de 63x82 cm	01
Prendedor de papel de 32mm	10
Imã circular (pode ser qualquer objeto pequeno e pesado)	02
Luva de cano de 25mm	06

Figura 2: Materiais utilizados.

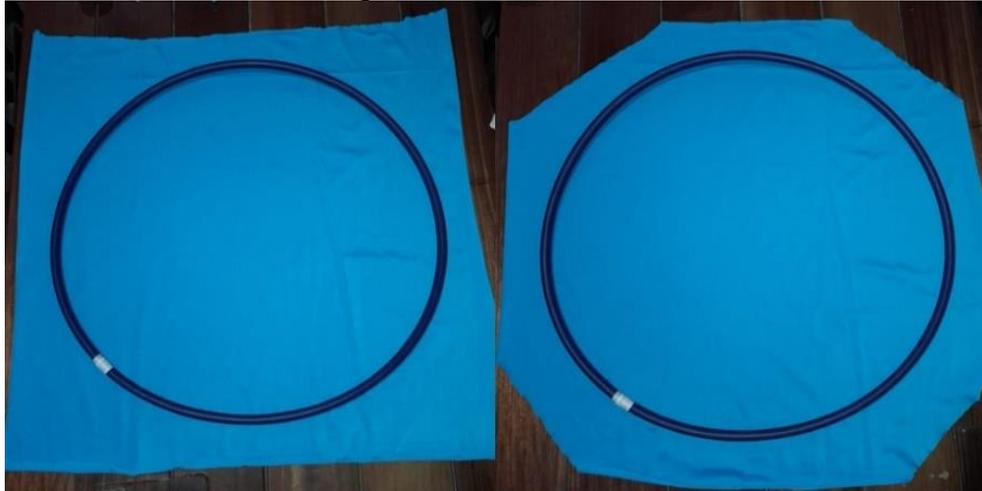


Fonte: Autor, 2023.

IV. Procedimentos

1. Com uma tesoura, recorte o tecido de lycra na medida que possa envolver o bambolê por completo, como mostrado na Figura 3. Cuidado para não deixar o tecido pequeno demais.

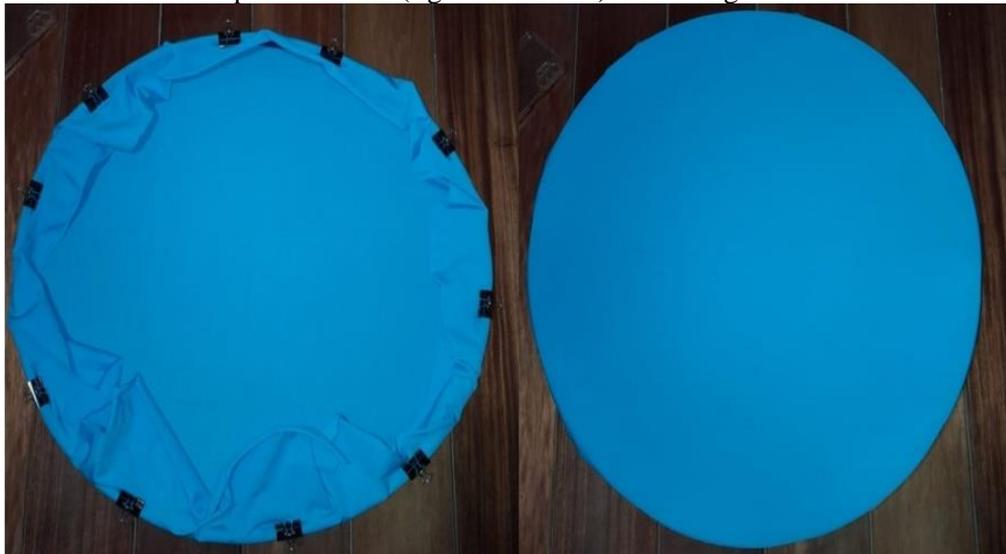
Figura 3: Cortes no tecido.



Fonte: O autor, 2023.

2. Com os prendedores de papel, prenda o tecido ao bambolê, de forma que o tecido fique esticado, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4: Tecido de lycra preso ao bambolê. Vista da parte de baixo (figura da esquerda) e vista da parte de cima (figura da direita) da montagem.



Fonte: Autor, 2023.

3. Em seguida, usamos as luvas de cano como suporte para o bambolê, como mostra a figura 5 abaixo, nesse caso, aproveitamos a parte do clip de metal dos prendedores de papel como um suporte de encaixe para as luvas, com essas luvas de 25mm, o bambolê se encontra a uma altura de aproximadamente 5,7cm da superfície da mesa, suficiente para o os ímãs não encostem na mesa.

Figura 5: Encaixe das luvas de cano como suporte.



Fonte: Autor, 2023.

4. Com o tecido montado como na figura da direita da Figura 4, lance uma bolinha de gude para mostrar como a bolinha segue uma trajetória em linha reta pelo tecido.
5. Em seguida, posicione os dois ímãs (ou qualquer outro objeto pequeno e pesado) no centro do bambolê, com um ímã em cima do outro, para que possa causar uma deformação considerável no tecido de lycra. Ele fará o papel do “Sol” deformando o espaço-tempo.
6. Lance uma bolinha de gude sobre a lycra, um pouco devagar e tentando que isso gere um movimento o mais circular possível, ou seja, que não seja uma elipse muito “esticada”. A proposta é que a bolinha de gude execute um movimento em torno dos ímãs que seja similar ao dos planetas em torno do sol.
7. Repita o procedimento anterior por 3 vezes e observe o movimento resultante em cada repetição.
8. Usando a mesma montagem do item 5, repita o processo lançando juntas duas bolinhas de gude. Em seguida, lance ao mesmo tempo 3 bolinhas de gude, simulando 3 planetas em torno do sol. Repita esse processo por 3 vezes e observe o que ocorre.
9. Em seguida, retire um dos ímãs da estrutura (ou use um objeto mais leve para representar) para representar um objeto central com menor massa. Repita os passos 5 a 7 e observe o que acontece, comparando com o que havia observado anteriormente.

10. Por fim, posicione os dois imãs afastados um do outro, por exemplo, deixe cada um deles a uma distância de 20 cm da borda do bambolê. Em seguida, coloque uma bolinha de gude no centro da estrutura, como mostrado na Figura 6. Isso representa o “ponto de Lagrange”, que é um ponto de equilíbrio em um sistema de dois corpos massivos, onde as forças gravitacionais se cancelam e um objeto fica parado nesse ponto, ou seja, se mantém estático.

Figura 6: Representação do ponto de Lagrange.



Fonte: Autor, 2023.

V. Questões

- 1) Você já tinha ouvido falar que a gravidade corresponde a uma deformação na curva do espaço-tempo?

() Sim. onde? _____

() Não.

- 2) O experimento apresentado o ajudou a compreender o que é a gravidade e como os planetas orbitam o Sol?

() Sim.

() Não.

Justifique a sua resposta: _____

3) Qual você jogou a bolinha de gude **sem os imãs** no centro da estrutura, qual foi a trajetória da bolinha?

- Em forma de um círculo/elipse, girando em torno do centro.
 Em linha reta.

4) Qual você jogou a bolinha de gude **COM os imãs** no centro da estrutura, qual foi a trajetória da bolinha?

- Em forma de um círculo/elipse, girando em torno do centro.
 Em linha reta.

5) Quando foi colocado apenas **um imã** no centro da trajetória, foi mais fácil ou mais difícil fazer as bolinhas ficarem “girando”?

- Mais fácil.
 Mais difícil.

6) Antes de ver este experimento, como você explicava o movimento dos planetas em torno do Sol?

7) **Após** ter participado deste experimento, como você explica o fato de que a Terra “gira” em torno do Sol?

8) Marque a alternativa correta:

- Objetos mais leves deformam mais a curva do espaço-tempo.
 Objetos mais pesados deformam mais a curva do espaço-tempo.

VI. Referências bibliográficas

BARRETTO BASTOS FILHO, Jenner. **UNIFICAÇÃO NEWTONIANA À LUZ DE UMA RECONSTRUÇÃO RACIONAL SOB VIÉS EPISTEMOLÓGICO**. Revista Psicologia & Saberes, 2018. Disponível em: <https://revistas.cesmac.edu.br/psicologia/article/view/771/644>. Acesso em: 7 abr. 2023. p 6.

GREENE, Brian. **O Universo elegante: supercordas, dimensões ocultas e a busca da teoria definitiva**. 1. ed. [S. l.]: Companhia das Letras, 2001. ISBN 978-85-359-0098-9. p 73 -75, 97-98.

OBSERVATION of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. [S. l.]: PHYSICAL REVIEW LETTERS, 11 fev. 2016. Disponível em: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.116.061102>. Acesso em: 7 abr. 2023.

OLIVEIRA, Kepler; SARAIVA, Maria. **Astronomia e Astrofísica**. 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2013. ISBN 978-85-7861-187-3. p 639-41.

RODRIGUES, Douglas. O que é espaço-tempo?.16 jul. 2017. Disponível em: <https://universoracionalista.org/o-que-e-espaco-tempo/>. Acesso em: 14 abr. 2023.

APÊNDICE III: QUESTIONÁRIO: Avaliando a aula experimental.

1. Você já havia participado de alguma aula experimental de física antes?

Sim.

Não.

2. Você gosta de participar de aulas experimentais?

Sim.

Não.

Justifique a sua resposta: _____

3. O que você achou desta aula experimental sobre a curvatura do espaço tempo e sobre a expansão do universo?

Ruim.

Boa.

Muito boa.

Excelente.

4. Qual experimento você mais gostou?

Curvatura do espaço-tempo.

Expansão do universo.

5. Você gostaria de ter mais aulas sobre astronomia (origem do universo, formação de galáxias, etc.)?

Sim.

Não.