

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**

**JOSE IZAIAS MOREIRA SCHERRER NETO**

**UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA NO ENSINO DE  
FÍSICA: DAS TEORIAS DE GRAVITAÇÃO AOS BURACOS  
NEGROS**

VITÓRIA  
2021

**JOSE IZAIAS MOREIRA SCHERRER NETO**

**UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA NO ENSINO DE  
FÍSICA: DAS TEORIAS DE GRAVITAÇÃO AOS BURACOS  
NEGROS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnFis) do Centro de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Espírito Santo.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga

Coorientador: Geide Rosa Coelho

VITÓRIA

2021

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de  
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

M835a Moreira Scherrer Neto, José Izaías, 1992-  
Uma abordagem investigativa no ensino de física: das teorias  
de gravitação aos buracos negros / José Izaías Moreira Scherrer  
Neto. - 2021.  
181 f. : il.

Orientador: Flávio Gimenes Alvarenga.

Coorientador: Geide Rosa Coelho.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) -  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências  
Exatas.

1. Ensino por investigação. 2. Física Moderna e  
Contemporânea. 3. Validação de SEI. 4. Gravitação. 5. Buraco  
negro. 6. Processo de análise, avaliação e validação de SEI. I.  
Gimenes Alvarenga, Flávio. II. Rosa Coelho, Geide. III.  
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências  
Exatas. IV. Título.

CDU: 53

---



---

# "UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA NO ENSINO DE FÍSICA: DAS TEORIAS DE GRAVITAÇÃO AOS BURACOS NEGROS"

**José Izaías Moreira Scherrer Neto**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 28 de julho de 2021.

## **Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga  
(Orientador: PPGEnFis/UFES)

---

Prof. Dr. Gláuber Carvalho Dorsch  
(Membro Externo: Departamento de Física/UFMG)

---

Prof. Dr. Rodrigo Dias Pereira  
(Membro Interno: PPGEnFis/UFES)



---

**"UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA NO ENSINO DE FÍSICA: DAS TEORIAS DE GRAVITAÇÃO AOS BURACOS NEGROS"**

**José Izaias Moreira Scherrer Neto**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 28 de julho de 2021.

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga  
(Orientador: PPGEnFis/UFES)

---

Prof. Dr. Gláuber Carvalho Dorsch  
(Membro Externo: Departamento de Física/UFMG)

---

Prof. Dr. Rodrigo Dias Pereira  
(Membro Interno: PPGEnFis/UFES)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
FLAVIO GIMENES ALVARENGA - SIAPE: 8298256  
Departamento de Física - DF/OCCE  
Em 29/07/2021 às 09:11

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/238800?tipoArquivo=0>

**Glauber Carvalho**  
**Dorsch:10546263755**

Digitally signed by Glauber  
Carvalho Dorsch:10546263755  
Date: 2021.07.29 19:14:26 -03'00'



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.259 de 30/08/2018, por  
**RODRIGO DIAS PEREIRA - SIAPE 1716741**  
Departamento de Ciências Naturais - DCN/CEUNES  
Em 26/08/2021 às 18:28

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.legisima.ufes.br/arquivos-assinados/25710071pbArquivo=0>

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, pelas oportunidades que surgem em nossas vidas e o estímulo que nos ajuda a prosseguir nos momentos de dificuldades. Porque d'Ele, por Ele e para Ele são todas as coisas.

À minha esposa Bárbara e ao meu filho, Danilo, que participaram de toda esta jornada ao meu lado. Que abriram mão de diversas coisas para que eu conseguisse cumprir com as minhas obrigações e chegar até aqui. Vocês fazem parte desta conquista, amo muito vocês.

Aos meus familiares que me apoiaram, incentivaram e se alegraram por cada conquista e etapa concluída, em especial, ao meu pai, Hércules, minha mãe Paula, meu sogro Alciro e minha sogra Isabel que sempre estavam dispostos a me ajudar no que precisasse.

Ao meu orientador, professor Flávio Gimenes Alvarenga, e meu coorientador, Geide Rosa Coelho, que, de uma forma bem especial, compartilharam seus conhecimentos e suas experiências não só para construção e desenvolvimento da pesquisa, mas também, para meu crescimento e desenvolvimento profissional. São aprendizagens que levarei para a vida. Vocês foram demais.

Aos professores e equipe do PPGEnFis, que nos deram **munições** importantes para conseguirmos enfrentar e vencer essa trajetória. Em especial a Raquel, que sempre esteve disposta a nos ajudar e incentivar.

Aos meus amigos de mestrado, com quem compartilhamos todos os momentos árduos e bons momentos. Não importa os caminhos que vamos percorrer, sempre terei lembranças desses momentos.

Aos professores e alunos que participaram da pesquisa, que compartilharam suas ideias e seus conhecimentos para a construção e desenvolvimento desta pesquisa, sem vocês isso não seria possível.

À equipe da Escola Estadual de Ensino Médio Leandro Escobar que me apoiou e não mediu esforços para que eu pudesse me aperfeiçoar profissionalmente.



Agradeço também à FAPES, pelo apoio financeiro, através da bolsa concedida, durante a realização do mestrado.

E a CAPES, pelo apoio financeiro ao programa de mestrado profissional em ensino de Física da UFES.

## RESUMO

O principal objetivo dessa dissertação foi desenvolver uma sequência de ensino investigativo que possibilite trabalhar o conceito da gravitação e sua construção, até chegar aos buracos negros, apresentando, dessa forma, os conteúdos, no campo da Física Clássica e da Física Moderna e Contemporânea, em sala de aula. Optou-se por desenvolver atividades que abordem temas da Física Clássica, como também, da Física Moderna e Contemporânea, na perspectiva do ensino por investigação. Essa abordagem possibilita a problematização, em sala de aula, ampliando a liberdade intelectual dos estudantes, no processo de construção de conhecimento científico escolar. Por motivos da pandemia do Covid-19, optou-se por realizar a validação, a priori, por pares da sequência de ensino por investigação. O processo de análise, avaliação e validação tiveram como participantes, alunos do ensino da Rede Pública, da Educação Básica e professores com ampla experiência na aplicação e desenvolvimento de atividades investigativas. Os dados que subsidiaram as análises foram coletados, através de um instrumento de validação de Sequência de Ensino Investigativo (SEI), disponibilizados virtualmente, e por meio de gravação do encontro com os professores participantes. O resultado culminou na reelaboração da Sequência de Ensino Investigativo (SEI), aumentando sua potencialidade para o ensino da gravitação aos buracos negros, numa perspectiva investigativa.

**Palavras chaves:** Ensino por investigação. Física Moderna e Contemporânea. Validação de SEI. Buraco Negro.

## **ABSTRACT**

The main objective of this dissertation was to develop an investigative teaching sequence that allows working on the concept of gravitation and its construction, until reaching black holes, thus presenting the content, in the field of Classical Physics and Modern and Contemporary Physics. In the classroom, it was decided to develop activities that address topics of Classical Physics, as well as Modern and Contemporary Physics, from the perspective of teaching through research. This approach allows problematization in the classroom, expanding the intellectual freedom of students in the process of construction of scientific knowledge at school. Due to the Covid-19 pandemic, it was decided to carry out the validation, a priori, by pairs of the teaching sequence by research. The participants in the analysis, evaluation and validation process were students from the public school, Basic Education and teachers with extensive experience in the application and development of research activities. The data that supported the analyzes were collected through a validation instrument of the Investigative Teaching Sequence (ITS), available virtually, and through a recording of the meeting with the participating teachers. The result culminated in the reworking of the Investigative Teaching Sequence (ITS), increasing its potential to teach gravitation to black holes, in an investigative perspective.

**Keywords:** Teaching by research. Modern and contemporary physics. ITS validation. Black hole.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - INTERAÇÃO GRAVITACIONAL	31
FIGURA 2 - CORPO DE MASSA M FORA DA TERRA	34
FIGURA 3 - NEWTON BALA DE CANHÃO	37
FIGURA 4 - CURVATURA NO ESPAÇO-TEMPO	40
FIGURA 5 - BURACO NEGRO DE SCHWARZSCHILD	42
FIGURA 6 - BURACO NEGRO DE REISSNER-NORDSTROM	49
FIGURA 7 - BURACO NEGRO DE KERR	50
FIGURA 8 - PRIMEIRA IMAGEM DO BURACO NEGRO	50
FIGURA 9 - GRÁFICO DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DA CATEGORIA DE ESTRUTURA	52
FIGURA 10 - GRÁFICO DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DA CATEGORIA DO PROBLEMA	74
FIGURA 11 - GRÁFICO DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DA CATEGORIA DE ARTICULAÇÃO ENTRE OS CONCEITOS E A SITUAÇÃO-PROBLEMA	79
FIGURA 12 - GRÁFICO DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DA CATEGORIA DE CONTEXTUALIZAÇÃO DE PROBLEMA	81
FIGURA 13 - GRÁFICO DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DA CATEGORIA DO PROBLEMA E SUA RESOLUÇÃO	82
FIGURA 14 - GRÁFICO DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DA CATEGORIA DO CONTEÚDO	84
FIGURA 15 - GRÁFICO DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DA CATEGORIA DAS CARACTERÍSTICAS DA ABORDAGEM DE ENSINO	88
FIGURA 16 - GRÁFICO DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DA CATEGORIA DA AVALIAÇÃO	89
FIGURA 17 - GRÁFICO DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DA CATEGORIA DO TEMA	93
FIGURA 18 - GRÁFICO DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DA CATEGORIA DA CLAREZA	97
FIGURA 19 - GRÁFICO DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DA CATEGORIA DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO	99

## LISTA DE SIGLAS

FMC	Física Moderna e Contemporânea
NSES	Parâmetros Nacionais de Ensino de Ciências
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
EHT	Event Horizon Telescope
SEI	Sequência de Ensino Investigativo
GPPEC	Grupo de Pesquisa em Formação Docente, Linguagem e Cultura na Educação em Ciências

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO	20
2.2.1	O Contexto Histórico do Ensino por Investigação	26
2.2.2	O Contexto Atual do Ensino por Investigação	28
3	A GRAVITAÇÃO	35
3.1	INTRODUÇÃO	35
3.2	ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL	38
3.3	MOVIMENTO DOS SATÉLITES	40
3.4.1	Primeira Lei de Kepler	43
3.4.2	Segunda lei de Kepler	44
3.4.3	Terceira lei de Kepler	45
4.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	60
4.1	OS SUJEITOS DA PESQUISA	60
4.1.1	Características do aluno	60
4.1.2	Características dos professores	61
4.2	TIPO DE PESQUISA	61
4.3	ETAPAS DO TRABALHO	62
4.3.1	A sequência de ensino investigativo (SEI)	62
4.3.3	O instrumento de avaliação, análise e validação da SEI para os alunos	73
4.3.4	Coletas de dados	74
5	ANÁLISES E RESULTADOS	77
5.1	A ANÁLISE DOS PROFESSORES	77
5.1.1	Estrutura e organização	77

5.1.2 Situação-problema	81
5.1.3 Conteúdo e conceitos	91
5.1.4 Características da Abordagem de Ensino	93
5.1.5 Avaliação	96
5.2 ANÁLISE DOS ALUNOS	100
5.2.1 Tema	101
5.2.2 Clareza e compreensão	102
5.2.3 Método de avaliação	104
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
APÊNDICE A	117
APÊNDICE B	169
APÊNDICE C	174
APÊNDICE D	175

## 1 INTRODUÇÃO

Um questionamento esteve presente, desde a minha formação acadêmica em licenciatura em Física: por que a maioria dos alunos das redes de ensino básico não gostam e não conseguem aprender os conteúdos de Física? Percebe-se também, que sempre quando os alunos precisam opinar sobre a disciplina de Física, as exposições passam pelas afirmações: “como essa disciplina é difícil; sempre tive dificuldade; nunca gostei dessa disciplina”. A negatividade, em torno das aulas de Física, provocou uma tamanha inquietação, estabelecendo a necessidade de realizar uma busca, em relação às metodologias e estratégias utilizadas nas escolas.

A forma como foi questionada a situação presente, na maioria das escolas, fez com que se percebesse a necessidade em buscar conhecimentos necessários para a elaboração de atividades e para um planejamento das aulas de forma a contribuir para uma melhor aprendizagem dos alunos, um melhor aproveitamento das aulas e, conseqüentemente, uma mudança nesses paradigmas.

Por intermédio dos estudos do curso de mestrado, em Ensino de Física, surgiram variadas possibilidades, das quais algumas já haviam sido apresentadas, durante a graduação. Surge, dessa forma, a oportunidade de um aprofundamento nos estudos dessa temática e na busca do conhecimento necessário para o início da proposta: levar um ensino de Física de qualidade aos alunos, condizente com as necessidades do mundo contemporâneo.

Uma das primeiras conclusões, a respeito das mudanças a serem realizadas, passa pela introdução de tópicos da Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica. Observou-se que, durante o ano letivo, em uma escola de Educação Básica, muitas vezes, os conteúdos como relatividade restrita, relatividade geral, física de partículas, entre outros conteúdos, não são desenvolvidos, em sala de aula. Assim sendo, o professor acaba se encarregando de trabalhar conteúdo da Física Clássica.

Introduzir os alunos no excitante mundo da Física Moderna e Contemporânea é oportunizá-los ao acesso a conhecimentos importantes, que regem a sociedade atual e contemporânea, contrapondo um ensino memorizador,



que se ocupa, basicamente, em ensinar fórmulas, sem que as mesmas façam sentido ou tenham aplicabilidade no dia a dia e na sociedade onde os alunos estejam inseridos (OSTERMANN E MOREIRA, 2000).

A introdução da Física Moderna e Contemporânea, além de uma necessidade, também pode ser vista como uma estratégia para estimular o interesse pela Física, seja com intuito de seguir carreira ou para própria formação do cidadão, que compreende o mundo e sociedade a que pertence, compreensão da ciência como um empreendimento social e cultural, rompendo algumas barreiras epistêmicas, no ensino de ciências e motivando os alunos, durante as aulas.

Associado à introdução da Física Moderna e Contemporânea, utilizamos o ensino investigativo para construção das atividades que compõem a Sequência de Ensino Investigativo (SEI) para o ensino da gravitação ao buraco negro.

O ensino por investigação é uma abordagem em que a centralidade está nos alunos e não no método tradicional que estabelece uma passionalidade dos mesmos. As atividades investigativas permitem uma liberdade intelectual, fazendo com que os alunos tenham responsabilidade com o processo de construção de conhecimento, no qual estão inseridos, possibilitando a formação de um cidadão mais crítico.

A investigação acontece por meio de uma situação-problema autêntica, apresentada aos alunos, que, por sua vez, ingressam na busca por uma resolução. Nesse processo o aluno possui a liberdade de levantar e testar hipóteses, questionar, argumentar, negociar significados e compartilhar ideias, interagindo com a turma e com o professor, assume esse uma postura de mediador.

O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver uma sequência de ensino investigativo que possibilite aos professores trabalharem o conceito da gravitação e sua construção, até chegar nos buracos negros, apresentando os conteúdos, no campo da Física Clássica e da Física Moderna e Contemporânea, em sala de aula.

A Sequência de Ensino Investigativo foi construída com base nas seguintes etapas: elaboração das atividades que compõem a sequência de ensino, análise, avaliação e validação, a priori, por pares da Sequência de Ensino

Investigativo (SEI) e Reelaboração da mesma. Esse processo permitiu a construção de uma sequência com potencial investigativo.

Devido à pandemia do Covid-19, a aplicação da Sequência de Ensino Investigativo (SEI), em sala de aula, foi inviabilizada. O processo de validação utilizado foi realizado por pares, contando com a colaboração de alunos e professores que possuem ampla experiência no desenvolvimento de atividades investigativas, no ensino básico da rede pública.

Segundo Cabral de Paulo (2020), diante da impossibilidade de realizar a intervenção direta com os alunos, o processo da validação pode ser realizado por especialistas que avaliam o conteúdo de Física a ser trabalhado, em sala de aula, garantido, segundo a opinião do mesmo, que o objetivo proposto possa ser alcançado, por meio de uma intervenção, no contexto educacional. Nesse sentido, todo o processo de validação visa à melhoria do material para viabilizar a sua aplicação e garantir o objetivo.

## **1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

O presente trabalho é a exposição escrita do resultado da realização de um processo de pesquisa investigativa, dividido em seis capítulos estruturantes. No capítulo 1 foi realizada uma breve introdução, relatando a temática da pesquisa; a motivação; os objetivos, as metodologias utilizadas e a relevância do estudo. No capítulo 2 foram apresentadas as perspectivas teóricas da introdução da Física Moderna e Contemporânea (FMC) e do ensino investigativo que norteiam a pesquisa e os referenciais utilizados para a elaboração da sequência e análise dos dados, no ensino médio. No capítulo 3 desenvolveu-se a parte teórica com conteúdo e conceitos da Física trabalhados nas atividades que compõem a SEI. No capítulo 4 apresentou-se a metodologia da pesquisa, explicitando o desenvolvimento e o processo de validação da SEI, ou seja, instrumento utilizado, características dos participantes da escola e o método para coleta de dados. No capítulo 5 foi realizada a análise dos dados, detalhando as respostas, comentários e falas dos participantes, organizando-os em gráficos e quadros. Finalmente, no capítulo 6 foram realizadas as considerações finais, pautadas em todo o processo,

com a participação e a apresentação do quadro da sequência, resultante do processo de validação.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO

São muitos os desafios no ensino da Física que levam a questionar e repensar as práticas de ensino desenvolvidas em sala de aula. Com o crescimento dessa demanda, professores/pesquisadores não estão poupando esforços em pesquisar metodologias e abordagens que ao serem desenvolvidas e aplicadas, em sala de aula, possibilitem uma ressignificação de todo processo de aprendizagem, no âmbito educacional (COELHO e AMBRÓZIO, 2019; SILVA JÚNIOR e COELHO, 2020; BODEVAN, 2020; BARCELOS, 2017). Além da necessidade eminente de ressignificar as práticas de ensino, outra demanda tem emergido em discussões e trabalhos relacionados ao ensino de Física: a necessidade de introduzir conteúdo da Física Moderna e Contemporânea (FMC), que, por sua vez, têm se mostrado desatualizados para as demandas atuais (EVANGELISTA, 2016; LUDOVICO, 2017; SOUZA 2021; SILVA JÚNIOR e COELHO, 2020).

A Física pode ser, historicamente, dividida em três períodos: Clássica, Moderna e Contemporânea. A Física Clássica foi desenvolvida, até o século XIX, tendo como seus principais colaboradores, Nicolau Copérnico, Galilei Galileu, Isaac Newton e outros. Contudo com as contribuições de Albert Einstein, Max Plank e demais, no século XX, deu-se início a um novo período da Física Moderna, essa nova forma de estudar fenômenos físicos, em níveis atômicos e astrofísicos, não invalida conceitos importantes da Física Clássica, porém reconhece que tais conhecimentos só se aplicam em determinados limites. Após a Segunda Guerra Mundial, inicia-se o período da Física Contemporânea, com estudos de partículas subatômicas (DOMINIGUINI, 2012).

Historicamente, pode-se observar o quanto a Física evoluiu no último século, mostrando que ela não se baseia em verdades absolutas, mas uma ciência que está em constante evolução. Contrário a essa importante característica aparece a Física trabalhada na sala de aula, que segundo Moreira (2017), acaba

se ocupando de conteúdo do período clássico, deixando de abordar conceitos relevantes da contemporaneidade, mostrando que o ensino de Física não tem acompanhado essa constante evolução científica, reforçando a ideia de uma ciência já acabada. Segundo Dominghini, Maximiano e Cardoso (2012) e Silva Júnior e Coelho (2020), essa falta de contextualização dificulta a alfabetização científica, distanciando o aluno da compreensão de ciência como uma construção humana e cultural e dos fenômenos sociais e científicos que os cercam.

A relação entre a ciência, a tecnologia e o cotidiano vêm se estreitando com as mudanças ocasionadas, no ambiente e no modo de vida das pessoas (Rezende; Almeida, 2016). Reconhecer a necessidade de abordar esses tópicos, contextualizando-os a situações atuais é, segundo os autores supracitados, reconhecer a integração da ciência e tecnologia com aspectos sociais, políticos, culturais e pessoais.

Na sala de aula, essa desatualização fortalece um cenário muito rotineiro, em que os alunos acham que a Física se resume em leis e fórmulas acabadas, fortalecendo um ensino memorizante, incompatibilizando a utilidade e a aplicabilidade desses conceitos relevantes para uma sociedade contemporânea (SILVA JÚNIOR; COELHO, 2020).

Outro ponto a ser destacado é o reconhecimento de que a Física acaba tornando-se um componente curricular elitizado, afastando, ainda mais, os alunos do mundo das pesquisas e descobertas atuais, privando-os de desenvolver conhecimentos mais coerentes com a necessidade da sociedade em que estão inseridos.

[...] os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não veem nenhuma Física, além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente (OSTERMANN E MOREIRA, 2000, p. 2).

Uma das consequências dessas considerações, vivenciadas no dia a dia dos estudantes é a falta de interesse em estudar e seguir uma carreira nessa área. Para que os alunos sejam incentivados, em relação ao seguimento dos estudos nessa disciplina, dedicando-se aos estudos da Física, reconhecendo que serão eles os possíveis futuros professores e pesquisadores, é necessário que sejam

repensados os conceitos da Física, levados para a sala de aula, como também, as metodologias e abordagens utilizadas para o desenvolvimento de atividades.

Sabe-se que são muitos os alunos que, ingressando na vida acadêmica, não optam em seguir a carreira científica, no entanto, a sala de aula configura-se, para a maioria da população, o principal meio de contato com a ciência, possibilitando a compreensão do meio em que vive. Esse conhecimento adquirido contribuirá para a formação do estudante como cidadão (REZENDE; ALMEIDA, 2016).

No cenário atual, existe um grande desenvolvimento tecnológico e as rápidas transformações têm exigido e imposto desafios para a educação básica, especialmente para o ensino médio. Para atender a necessidade de formação dos jovens é de extrema importância que alunos do ensino médio tenham contato com teorias estruturantes de tecnologias atuais, possibilitando um entendimento da Física a ser aplicada em seu cotidiano. Segundo Rodrigues (2014), o ensino de conceitos da FMC contribui para melhor entendimento tecnológico de aparelhos e fenômenos naturais do cotidiano dos estudantes.

Atualmente, a tecnologia faz parte do cotidiano da humanidade e compreendê-la, de forma crítica, é importante para a formação do indivíduo. A aprendizagem dos fundamentos dessas tecnologias atuais, de acordo com Ostermann e Moreira (2000, p. 4) é indispensável:

[...] é imprescindível que o estudante do ensino médio conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e pode definir seu futuro profissional. É importante a introdução de conceitos básicos de FMC e, em especial, fazer a ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano.

Essa compreensão é responsabilidade da escola, principalmente, das disciplinas de ciências da natureza. E continua:

[...] o mundo contemporâneo é altamente tecnológico e que para compreendê-lo é função da escola, principalmente dos programas de Ciências Naturais e Sociais e de Física, Química e Biologia, incluir no seu currículo os assuntos relevantes para a formação de um cidadão esclarecido sobre o que o cerca. (OSTERMANN; MOREIRA, 2000, p. 4).

Da mesma forma, também, o ensino de tópicos da FMC é necessário para a compreensão da ciência, como um empreendimento humano e cultural. Compreender a ciência como um empreendimento humano e cultural, em constante processo de produção de conhecimento, é tornar a pessoa capaz de tomar uma decisão e desempenhar funções sociais, econômicas e políticas condizentes com a época em que vive (OSTERMANN; MOREIRA, 2000). Por outro lado, Laburú et al. (1998) ressalta, de uma forma irônica, que “devem os alunos secundaristas estudar FMC do século XX, antes que ela acabe” (OSTERMANN; MOREIRA, 2000, p. 4).

A Física não é uma ciência acabada e essa estrita vinculação com o contexto de desenvolvimento social, econômico, político e tecnológico, reforça a importância de os conteúdos desenvolvidos em sala serem atualizados, possibilitando a compreensão dos acontecimentos e desenvolvimentos atuais, preparando-os para desafios futuros.

É necessário que se traga para o interior da sala de aula uma Física mais atualizada e próxima dos alunos, de maneira que se sintam desafiados e percebam que ainda há muito o que descobrir, transmitindo uma imagem mais correta dessa ciência e do próprio trabalho científico. “Despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles” (OSTERMANN; MOREIRA, 2000, p. 2).

Segundo Terrazan (1992), a compreensão dos fenômenos, vivência plena com as atuais tecnologias e a inserção consciente, modificadora e participativa dos alunos neste mundo atual, só serão possíveis se houver um mínimo de conhecimento básico e fundamental da FMC.

A introdução da FMC, nas aulas do ensino médio, faz com que a disciplina tenha mais sentido para o aluno, visto que ela faz parte de uma sociedade contemporânea, na qual seus conceitos são bases de inúmeras tecnologias atuais, possibilitando o despertar do interesse dos alunos pelo estudo dessa ciência em sala de aula. Ainda afirmam OSTERMANN; MOREIRA (2000):

[...] Paulo (1997) considera pertinente a introdução de FMC no ensino médio, visto que esta faz parte do cotidiano da sociedade contemporânea. Ao ter noções de tópicos de FMC, o aluno dará sentido à Física, fazendo relações com o mundo que o cerca. (OSTERMANN; MOREIRA, 2000, p. 3)

[...] O uso de tópicos de FMC pode permitir que o professor mantenha ou até mesmo desperte o interesse pelas ciências que as crianças trazem para a escola. (OSTERMAN; MOREIRA, 2000, p. 4).

Não se pode ignorar as boas consequências do entusiasmo recíproco entre professores e alunos em sala de aula, gerado por um conteúdo atual, desafiador, intrigante e revolucionário.

Segundo os autores Braga, A. S, Killner, G. I.; Araújo, F. G. ( 2017), Jerzewski, V. B. (2015) e João, H.A (2016), Ostermann e Moreira (2000), para o professor é mais divertido ensinar tópicos novos, isto porque, consideram que o entusiasmo tem uma relação direta com o material didático utilizado e com a mudança do conteúdo. Ostermann e Moreira (2000, p. 3) defendem, também “[...] que a introdução da FMC no currículo das escolas pode proporcionar a superação de certas barreiras epistemológicas fundamentais para o conhecimento do indivíduo sobre a natureza”.

Os autores Filgueira e Soares (2015), em concordância com essa afirmação, sinaliza para a possibilidade do indivíduo, através do entendimento dos conteúdos da FMC, possuir uma capacidade cognitiva maior.

Não significa que devemos esquecer o período clássico da Física, mas trabalhá-la de forma articulada com a atualidade, conforme afirma Terrazzan (1992).

Não se trata, é claro, de abandonar o estudo da Física Clássica, mesmo porque, em muitos momentos, ela é o suporte para o entendimento dos conceitos desenvolvidos na Física Moderna, a qual lhe sucedeu historicamente (TERRAZZAN, 1992, p. 4).

Uma das possíveis maneiras de trabalhar a Física Clássica articulada com a Física Moderna e Contemporânea, de forma que tenha aceitação e não contraponha os conteúdos pré-determinados, é explorando os limites dos modelos físicos. Para Guimarães; Nabuco e Ximenes (2020), a Física Contemporânea é importante para a compreensão dos conceitos da Física Moderna e



Contemporânea, visto que, historicamente, antecede o conhecimento adquirido atualmente. Sendo assim, mostrar, historicamente, o desenvolvimento dos conceitos, não só reforça a ideia de que, na Física, certos modelos funcionam bem em determinadas situações, e que se faz necessário o desenvolvimento de novas teorias para o entendimento de situações diversas, mas contribui, também, para o entendimento dos novos conceitos.

## **2.2 ENSINO POR INVESTIGAÇÃO**

A forma com que os conceitos da Física serão trabalhados em sala de aula, narrará o processo de aprendizagem ao qual o professor e alunos estarão inseridos. Nos dias atuais, em sala de aula, o ensino se apresenta muito mecanicista, pautado, somente, no discurso do professor, com menor liberdade intelectual dos alunos, construindo um ambiente metódico, desestimulador e antidemocrático. Muitos pesquisadores têm trabalhado com o intuito de minimizar os efeitos de um ensino tradicionalista, buscando abordagens que facilitem o ensino de ciência no Brasil (AZEVEDO, 2004; SÁ et al. 2007; CARVALHO, 2013; COELHO e AMBRÓZIO, 2019; SILVA JÚNIOR e COELHO, 2020; BODEVAN, 2020; BARCELOS, 2017; FRANCO e MUNFORD, 2020; SASSERON, 2021).

Segundo Terrazan (1992), o apelo crescente da introdução da Física Moderna e Contemporânea (FMC), para uma melhor e correta compreensão dos fenômenos físicos, por parte dos nossos alunos, bem como a sua inserção como cidadãos conscientes, participativos e modificadores, não poderá se dissociar da necessidade de debates e revisão do tipo de abordagem realizada em sala de aula.

Em complemento à justificativa anterior, Franco e Munford (2020) apontam o compromisso das práticas de ensino inovadoras que estão sendo desenvolvidas para melhorar o engajamento dos alunos no processo de construção do conhecimento científico.

O ensino por investigação contrapõe o modelo de ensino diretivo e contribui para um ensino mais crítico e reflexivo, viabilizando uma perspectiva mais democrática e de inserção dos estudantes em práticas típicas da cultura científica

escolar. Com a busca da construção de conceitos, desenvolvimentos de atitudes, práticas e normas da cultura científica, o aluno passa a ser mais ativo, permitindo-o uma atitude mais questionadora e argumentadora, tornando possível a organização das ideias (SILVA JÚNIOR; COELHO, 2020).

### 2.2.1 O CONTEXTO HISTÓRICO DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

O ensino em uma perspectiva investigativa iniciou-se, no século XIX, nos Estados Unidos, influenciada pelas ideias do filósofo Dewey, com o intuito de trazer uma nova perspectiva para o ensino de ciência. Nesse mesmo século, iniciou-se um movimento denominado progressista, que defendia um ensino centrado na vida, práticas e uma participação ativa do aluno no processo educacional a qual estavam inseridos, tendo como o principal precursor Dewey (ZÔMPERO; LABURU, 2011).

O filósofo Dewey se tornou um símbolo contra as ideias da pedagogia tradicional, defendida por Herbart, que se concretizava tendo como pilares três conceitos educacionais: Governo, disciplina e instrução educativa (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

Segundo ZÔMPERO e LABURÚ (2011) os pilares dessa pedagogia tradicional funcionavam da seguinte forma.

O governo refere-se às regras externas que fazem com que o aluno se mantenha atento ao assunto estudado. Para que isso seja efetivado é possível aplicar castigos e ameaças ao aluno. A disciplina visa à formação do caráter para que o aluno desenvolva e reflita sobre os aspectos morais. Por fim, a instrução educativa consiste em educar o aluno para que desperte interesse em aprender. Para Herbart, a instrução é assegurada pela disciplina e pelo governo (ZÔMPERO e LABURÚ, 2011, p. 3).

Fala-se de uma pedagogia que reforçava um ensino centralizado no professor, aproximando o ensino científico ao modelo clássico educacional, desprezando toda e qualquer experiência vivenciada pelos alunos, contrapondo, dessa forma, o que Dewey defendia. Segundo Zômpero e Laburú (2011) o filósofo considerava que a experiência e a aprendizagem não poderiam ser realizadas, separadamente. Ao mencionar a experiência, Dewey não se refere aos experimentos, como muitos acreditam. Para ele, a experiência à qual se refere é o

conjunto de vivência. Refletindo-se sobre esse conjunto, gera-se um processo natural, o conhecimento, fazendo com que essas experiências deem razão à vida.

Outra característica importante a se considerar, em relação ao movimento progressista, é a interação sociocultural no processo de aprendizagem. Para Dewey, esse dinamismo possui elementos sociais importantes para a criação de um ambiente reflexivo que contribui para a ampliação da aprendizagem dos estudantes (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

Em meados do século XIX os cientistas começaram a questionar a igualdade nos métodos de ensino de disciplinas como matemática e gramática, com o ensino da ciência, dando início a um movimento de defesa, considerando que a ciência deveria ser ensinada de forma diferente, por proporcionar práticas de lógicas indutivas. Com o argumento do processo de indução, as práticas com a utilização dos laboratórios surgiram, no intento de contribuir para o desenvolvimento da prática de observação. Nesse mesmo período, os laboratórios e o ensino, utilizando processo investigativo, ganham apoio dos filósofos positivistas, que defendiam que as observações experimentais cooperavam para uma melhor compreensão dos fenômenos naturais (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

Segundo Zômpero e Laburú (2011), o ensino por investigação, neste século, apresentou três fases específicas: a descoberta, a verificação e o *inquiry*. Na descoberta os alunos exploram o mundo natural; na verificação, há o uso do laboratório para a confirmação de fatos ou princípios e no *inquiry*, que foi incluído por Dewey em 1938, visa-se estimular o raciocínio e as habilidades intelectuais, fazendo com que os alunos descubram algo, utilizando o método científico, procurando soluções de problemas para os quais não sabiam a resposta.

Para Dewey, o método científico apresentava os seguintes passos: apresentação de problema, formação de hipótese, coleta de dados durante o experimento, e formulação de conclusão. Sendo que para estimular um pensamento ativo nos alunos, o problema proposto teria que estar de acordo com capacidade cognitiva, desenvolvimento intelectual e as experiências deles (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

Devido ao desenvolvimento e à urbanização, na primeira metade do século XX, a educação científica teve seu alvo em valores sociais, visando desenvolver cidadãos com habilidades de resolver questões e problemas de demanda social (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

Para Dewey, o papel da ciência é servir a sociedade, proporcionando por meio das suas áreas, planos destinados a melhorar as condições humanas. A educação científica integra-se a esse mesmo projeto, tendo a responsabilidade, por meio da ciência, de mudar hábitos e pensamentos que não contribuem para uma sociedade democrática (CUNHA, 2001).

Com o lançamento do satélite Sputnik, pelos russos, a educação nos Estados Unidos manteve como intuito principal a formação de cientistas para a segurança do país. Argumentos dos cientistas, educadores e líderes industriais, que acreditavam no enfraquecimento da educação científica, por enfatizar aspectos de relevância social, ajudaram os Estados Unidos a repensarem o ensino de ciência no país. Essa nova reforma contou com a contribuição do filósofo Josef Schwab. Para ele, conteúdo e prática não só faziam parte como eram indispensáveis para a educação científica. Dessa forma, os alunos deveriam aprender em um processo investigativo e não terem respostas prontas dadas pelo professor. Tal investigação ajudaria os alunos na compreensão do trabalho científico (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

### 2.2.2 O CONTEXTO ATUAL DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

Segundo Sá (2009), o ensino na perspectiva investigativa só ganha destaque nos Estados Unidos depois da publicação dos documentos Science For All Americans (1989) e National Science Education Standards (1996), contendo recomendações para se estabelecer uma educação coerente com a natureza investigativa, científica e com orientações para a alfabetização científica. Ambos reconhecendo a importância do ensino de investigação.

Em países como os Estados Unidos, onde ensino por investigação é o princípio central dos Parâmetros Nacionais de Ensino de Ciências (NSES), e a

Inglaterra que, desde a década de 1990, já vem apresentando orientações para o desenvolvimento de posturas investigativas, percebe-se o ensino por investigação bem estabelecido nas aulas de ciências (SÁ; PAULA; LIMA; AGUIAR, 2007). No Brasil existe uma grande mobilização por parte de pesquisadores, fazendo com que o número de artigos aumente, dando mais visibilidade a essa abordagem.

Segundo Sasseron (2021), movimentos em todo o mundo têm se pautado em pesquisas que indicam a necessidade de ensinar ciências, relacionando temas conceituais, práticas e a investigação.

No Brasil, o documento normativo publicado em 2017, que serve como referência obrigatória para a elaboração dos currículos e propostas pedagógicas da BNCC – Base Nacional Comum Curricular traz ideias como aquela mencionada anteriormente, (SASSERON, 2021). Em seu texto ao pormenorizar a área da Ciências da Natureza, ressalta-se a importância da investigação no processo de aprendizagem das disciplinas estruturantes desta área (BRASIL, 2017).

Ao detalhar as competências necessárias a serem trabalhadas e desenvolvidas pelas Ciências da Natureza, o documento descreve toda a característica de uma atividade investigativa e suas implicações na construção, não apenas do conhecimento, mas na do cidadão que é também almejado (BRASIL, 2017).

Embora, no Brasil, haja orientações que possam potencializar a utilização da abordagem investigativa nas aulas de ciências, existem alguns obstáculos que surgem, por parte do educador, no desenvolvimento de atividades que estabelecem um ambiente investigativo em sala de aula. Segundo Serafim (2016), até mesmo nos Estados Unidos, país de origem da abordagem, não existe uma só definição, encontrando diversas conceituações de *inquiry*, como: ensino por descoberta; aprendizagem por projetos; questionamentos; resolução de problemas, dentre outras. Pesquisadores brasileiros têm se dedicado a estabelecer características importantes da investigação, para que professores possam fazer uso dessa abordagem, a fim de promover mudanças no ensino de Física (SÁ et al. 2007; CARVALHO, 2013; COELHO; AMBRÓZIO, 2019; SASSERON, 2019; SILVA JUNIOR; COELHO, 2020).

Uma transformação do processo de ensino, em que as ações estão centradas no discurso do professor, os alunos apenas recebem as informações, de forma pouco participativa, o que os pesquisadores estão trabalhando para superar, por meio desta abordagem. Nesse universo, no qual o processo educacional vem sofrendo mudanças significativas, seguindo a constante evolução e mudanças da sociedade, Carvalho (2013) considera que o ensino por investigação se torna uma possibilidade para produzir um ensino consciente, ao invés de mecânico e tecnicista.

Segundo Silva (2014), o ensino por investigação possibilita o ensino de ciências e sobre ciências, bem como o desenvolvimento de habilidades e competências das relações Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). A escola, por sua vez, passa a ter a missão de conseguir habilitar os indivíduos para a sua sobrevivência na sociedade, como alunos críticos e conscientes.

Preparar o indivíduo para viver em sociedade não é, somente, oportunizar o acesso às informações, mas inseri-lo em um processo de aprendizagem que possibilite o desenvolvimento de um cidadão mais crítico, contribuindo para a formação de um sujeito menos propício a aceitar notícias falsas, transvestidas de verdades absoluta (SASSERON, 2019).

A investigação como atividade social, segundo Sasseron (2019), possibilita o desenvolvimento de práticas epistêmica capazes de inserir os alunos em um processo de aprendizagem que os aproxima da atividade científica, contrapondo o método tradicional, no qual as aulas são apoiadas em apenas um posicionamento, considerado correto, retirado de uma enciclopédia. Na contramão dessa atividade centralizada em um único discurso, o ensino por investigação preza por um ambiente propício ao levantamento de hipóteses, questionamentos, posicionamentos divergentes, diálogos e mudanças de opiniões, pautando suas afirmações em análises de dados e não em conjecturas realizadas por terceiros.

Para Sasseron (2021), a ciência é social e, por isso, as práticas também são sociais, caracterizando-a como epistêmica e trazendo a compreensão da ciência como atividade social. A produção de conhecimento científico, em sala de

aula, com o desenvolvimento das práticas epistêmicas, segundo Franco e Munford (2020), pode ocorrer, através do ensino por investigação.

Sendo assim, as práticas epistêmicas não são desenvolvidas de forma simples, mas é necessário que elas sejam evidenciadas e experimentadas, uma vez que necessitam do envolvimento e da ligação entre o sujeito e o processo de aprendizagem (SASSERON, 2021). Elas devem surgir, ainda, de acordo com Sasseron (2012, p 5), “pelos oportunidades conferidas para que os estudantes proponham, comuniquem, avaliem e legitimem ideias e conhecimentos em atividades didáticas”.

No ensino por investigação, os alunos, com o suporte adequado do professor, são inseridos em processos investigativos, envolvendo-se em sua própria aprendizagem que, por meio de questões, elaboram hipóteses, analisam evidências, chegando a seus resultados e conclusões. Nesse sentido, Oliveira (2015) aborda que o ensino por investigação pode ser considerado uma abordagem que envolve atividades centradas no aluno, possibilitando o desenvolvimento de sua capacidade de tomar decisões e da autonomia, de analisar e resolver problemas. Existe também a possibilidade de, por meio dessa abordagem, promover a alfabetização científica que, segundo Solino e Sasseron (2018), possibilita ao aluno um ambiente que contribua para o desenvolvimento da habilidade de tomar decisões conscientes, realizar resoluções de problemas pessoais ou sociais, utilizando conhecimento científico.

Para Carvalho (2013) não significa que os alunos vão se comportar e pensar como os cientistas, até porque, não possuem maturidade e conhecimentos específicos. Ainda segundo Carvalho (2013), a proposta é criar um ambiente investigativo, no qual o processo de ensino seja semelhante ao trabalho científico, a fim de desenvolver, gradativamente nos alunos, a alfabetização científica, ampliando sua cultura científica e a sua linguagem científica.

Além disso, o professor assume uma mediação diferente daquela exercida, no ensino tradicional, em sala de aula, que é pautada no discurso de autoridade como elemento central de aprendizagem (AMBRÓZIO; COELHO, 2019). O professor em uma atividade investigativa é o principal responsável por mediar, junto

com os estudantes, o processo de investigação, proveniente da busca pela resolução do problema apresentado, na sala de aula. Nesta perspectiva, onde se objetiva a resolução por parte do aluno, o professor não assume o papel de transmissor de conhecimento, mas é extremamente importante para que se estabeleça esse ambiente propício à investigação.

Segundo Silva Júnior e Coelho (2020), cabe ao professor planejar as atividades investigativas, de maneira que, a cada situação-problema os alunos possam ser direcionados, de forma indireta, para a resolução do problema.

Além do planejamento consistente, levando em consideração fatores como tempo, conceitos trabalhados, características da turma, contexto social e relações interpessoais, o professor deverá estar preparado para a condução/direcionamento da turma. Essa condução deve ocorrer por meio de uma postura questionadora e problematizadora, não entregando a resposta e, sim, mediando todo o processo. Para Sasseron (2021), o ensino por investigação é compreendido como uma abordagem didática, atribuindo ao professor o papel de promover a interação dos estudantes com os fenômenos, fatos e informações.

Segundo Sasseron (2015), o professor, também, tem que estar apto a valorizar pequenas ações e colocá-las em destaque, no tempo oportuno, como por exemplo, os erros emergidos da busca pela resposta. A valorização dessas ações fará com que as atividades não estejam estritamente focadas em respostas corretas ou erradas, porém, em todo o processo de construção de conhecimento no qual o aluno se propôs a participar.

Nas atividades investigativas, os alunos possuem uma maior liberdade intelectual e isso reflete em sua postura durante a realização da atividade. A participação nas atividades não se restringe, apenas, em serem ouvintes, mas devem ativamente participar de todo o processo de construção de conhecimento, levantando hipóteses, testando hipóteses, questionando, dialogando, interagindo com os demais e respeitando as diferenças (SILVA JUNIOR; COELHO, 2020). Tanto o professor como os alunos possuem papéis fundamentais em todo o processo de aprendizagem, com atividades de características investigativas, sendo indispensáveis à colaboração de todos para que a intervenção ocorra com sucesso.



Nessa perspectiva, para que uma atividade possa ser considerada como uma atividade investigativa, a ação do aluno não deve se limitar apenas ao trabalho de manipulação ou observação, ela deve conter características de um trabalho científico, ou seja, os alunos devem participar de processos de levantamento e testes de hipóteses, argumentação, negociações para o desenvolvimento de estratégias para solução dos problemas propostos (BORGES, 2002; SÁ et al., 2007; COELHO; AMBRÓZIO, 2019; NASCIMENTO; SASSERON, 2019).

Assim sendo, Carvalho (2013) aborda que uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) deve conter algumas atividades principais: inicia-se por um problema contextualizado, sendo experimental ou teórico, oferecendo aos alunos condições de pensar e trabalhar para solução do problema; após a resolução do problema, elabora-se uma atividade de sistematização do conhecimento construído e uma outra atividade que promova a contextualização do conhecimento, no dia a dia dos alunos.

De acordo com Sá et al. (2007), uma atividade investigativa deve seguir as seguintes etapas: (I) Construir um problema (problematização) que instigue e oriente o trabalho do estudante e do professor; se existe um problema que seja autêntico, ele desencadeará debates, portanto, é necessário valorizar o debate e a argumentação. (II) Propiciar a obtenção e a avaliação de evidências, através de atividades de investigação que conduzem a resultados que precisam ser sustentados por evidências, para que os mesmos sobrevivam às críticas. (III) Aplicar e avaliar teorias científicas, ou seja, criar situações em que esse conhecimento possa ser aplicado e avaliado na solução de situações-problema. (IV) Permitir múltiplas interpretações de um mesmo fenômeno, podendo, assim, sentir a importância da aplicação do conhecimento construído, do ponto de vista social.

Continuando esse debate, Carvalho (2013), Azevedo (2004), Sá et al. (2007), Silva Júnior e Coelho (2020) reconhecem as diferentes possibilidades e a natureza das atividades investigativas que podem ser desenvolvidas no ensino de ciências e, conseqüentemente, no ensino de Física. Pode-se, nesse contexto, desenvolver problemas abertos, atividades experimentais, atividades com

simulação computacional, demonstrações investigativas, atividades teóricas, pesquisas, dentre outras possibilidades.

Segundo Silva Júnior e Coelho (2020), até mesmo atividades desenvolvidas, diariamente, em sala de aula, podem tornar-se investigativas, dependendo da abordagem utilizada pelo professor. De acordo com essa argumentação, Sá et al. (2007) caracteriza as atividades investigativas, conjecturando que o ensino investigativo é muito mais o ambiente que se estabelece, do que propriamente a atividade em si.

Na visão apresentada pelos autores, a atividade investigativa precisa ser planejada, a fim de se estabelecer um ambiente investigativo. O problema apresentado, a mediação do professor, a sistematização do conteúdo e a avaliação precisam, claramente, serem desenvolvidos atrelados a uma mudança do processo de aprendizagem estabelecido em sala de aula, e uma mudança de postura do professor e dos alunos.

Com base na discussão estabelecida até o momento, esta pesquisa resultou em uma sequência de ensino investigativo, que trará os pressupostos necessários para, por meio das atividades propostas, estabelecer-se um ambiente investigativo, resultando em uma possível mudança na prática desenvolvida em sala de aula e todos os benefícios inerentes desta abordagem.

Precedendo a descrição metodológica da pesquisa, no capítulo seguinte será apresentada uma revisão sobre Gravitação e a sua relação com os buracos negros, com destaque para as principais propriedades destes corpos celestes.

## 3 A GRAVITAÇÃO

### 3.1 INTRODUÇÃO

A primeira tentativa de que se tem registro de explicar o movimento dos corpos foi do filósofo grego Aristóteles, que defendia a tendência natural dos objetos de ocuparem o seu lugar no Universo, quanto mais pesado fosse o objeto, maior seria sua tendência de ocupar o seu lugar no centro do Universo (MATSAS e VANZELLA, 2008).

Galileu Galilei, em 1590, contrariou as ideias defendidas por Aristóteles. Ele defendeu em seu livro “De Motu” que a característica natural de um determinado objeto é permanecer em repouso ou em movimento uniforme, a não ser que algum agente externo modifique essa condição, construindo o conceito de inércia. Nessa mesma obra, ele defende que em uma situação ideal, corpos de massas diferentes chegariam, ao mesmo tempo, no solo, se lançados à mesma altura.

Embora Galileu Galilei tenha avançado, grandemente, ao perceber que a velocidade de queda de um objeto não dependia do seu peso, foi o inglês Isaac Newton que formulou a primeira teoria de Gravitação. Newton enunciou em 1687 a Lei da Gravitação Universal, em que define a interação gravitacional como uma força que atua à distância entre os corpos. Ele determinou, de modo preciso, que a força de atração entre qualquer par de partículas era diretamente proporcional ao produto das duas massas, e inversamente proporcional à distância ao quadrado das partículas (YOUNG; FREEDMAN, 2015).

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} .$$

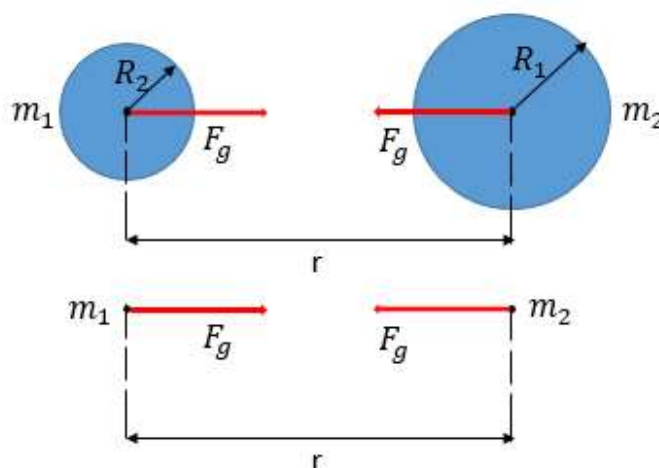
Acima,  $m_1$  e  $m_2$  são as massas dos corpos e  $d$  é a distância entre eles.

A constante gravitacional  $G$ , na fórmula, é uma constante física fundamental, seu valor é de  $6,67408 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ , e pôde ser medida em 1798 por Henry Cavendish, utilizando um instrumento denominado balança de torção.

De acordo com a terceira lei de Newton, a interação gravitacional trocada entre dois corpos massivos forma um par de forças de ação e reação. Assim sendo, a força gravitacional exercida por um corpo qualquer na Terra, tem o mesmo módulo da força que a Terra exerce sobre esse corpo.

Ao supor que a massa total de um corpo esférico esteja reunida em seu centro, pode-se considerar que a interação gravitacional seja igual à das partículas.

Figura 1: Interação Gravitacional



Fonte: Própria

Considerando a interação de um objeto de massa qualquer  $m$ , com um corpo massivo de simetria esférica, como a Terra, a força gravitacional é dada por:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}.$$

em que  $r$  é o raio e  $M$  é a massa, ambos do corpo massivo esférico.

Com a definição da força gravitacional pode-se, também, definir o peso de um objeto. Ao considerar que o objeto esteja próximo da superfície da Terra, que, hipoteticamente, é simetricamente esférica, o peso é definido como a força de atração gravitacional que a Terra exerce sobre o objeto. Essa definição é válida em situações em que o objeto esteja na superfície de outros corpos celestes. Um objeto de massa “m” terá seu peso “p” calculado, utilizando a seguinte expressão matemática:

$$p = F_g = \frac{G \cdot m_t \cdot m}{R_t^2},$$

em que “p” é o peso,  $F_g$  a força gravitacional,  $G$  a constante gravitacional,  $m_t$  a massa da Terra,  $m$  a massa do corpo e  $R_t$  o raio da Terra.

Quando se considera o peso de um objeto em um ponto acima da superfície da Terra:

$$p = F_g = \frac{G \cdot m_t \cdot m}{r^2},$$

sendo  $r$  a distância entre o objeto e a Terra, pode-se observar que o peso varia com o inverso do quadrado da distância ao centro da Terra.

Em um objeto em queda livre, o peso é uma força que produz uma aceleração  $g$ , chamada de aceleração gravitacional. Fazendo uma analogia com a segunda lei de Newton e, substituindo peso ( $p$ ) por  $m \cdot g$ ., obter-se-á a seguinte expressão:

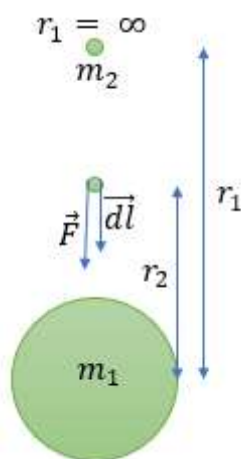
$$g = \frac{G \cdot m_t}{R_t^2}.$$

Observa-se que a aceleração gravitacional não depende da massa do objeto, mas sim, da massa do corpo esférico.

### 3.2 ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

Ao considerar um corpo de massa  $m_2$ , movendo-se para baixo do ponto  $r = r_1$  até o ponto  $r = r_2$ , em um sistema de corpos de massas  $m_1$  e  $m_2$  pode-se calcular a energia potencial gravitacional, através do trabalho ( $W_g$ ).

Figura 2: Sistema de dois corpos de massas  $m_1$  e  $m_2$ .



Fonte: Própria

Movendo o corpo do ponto  $r_1$  a  $r_2$

$$W_g = \int_{r_1}^{r_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

À medida que  $m_2$  se desloca a distância radial diminui,  $dl = -dr$ . Sendo  $\vec{F} \cdot d\vec{l} = F dl = -F dr$

$$W_g = - \int_{r_1}^{r_2} F dr$$

$$W_g = - \int_{r_1}^{r_2} \left( \frac{G m_1 m_2}{r} \right) dr$$

$$W_g = \frac{G m_1 m_2}{r} \Big|_{r_1}^{r_2} = G m_1 m_2 \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

O trabalho ( $W_g$ ) segundo o teorema trabalho-energia é dado variação de energia:

$$W_g = -\Delta U$$

Então,

$$-(U_f - U_i) = G m_1 m_2 \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

$$U_f - U_i = -\frac{G m_1 m_2}{r_2} + \frac{G m_1 m_2}{r_1}$$

Se  $r_1 = \infty$ ,  $r_2 = r$  e  $U_i = 0$  por estar no infinito,

$$U = -\frac{G m_1 m_2}{r}.$$

A energia potencial gravitacional depende da distância entre os objetos. Ao aumentar a distância,  $U$  aumenta, tornando-se menos negativo e ao diminuir a distância,  $U$  diminui, tornando-se mais negativo, isso em situações em que mesmo que a distância aumente ainda exista uma atração gravitacional entre os objetos.

Para que um objeto consiga ser lançado sem que retorne para a Terra, é necessário que atinja uma velocidade mínima que chamamos de velocidade de escape, e podemos chegar em seu módulo pela conservação de energia mecânica. Em situações em que a força gravitacional da Terra é a única que exerce trabalho, nesse caso, a energia total do sistema é conservativa.

$$E_{ci} + E_{pi} = E_{cf} + E_{pf}.$$

Quando se considera a energia mecânica inicial na superfície da Terra e a final no infinito, logo, esse corpo estará em estado de repouso a uma distância infinita, conseqüentemente, a sua energia cinética final e energia potencial gravitacional final serão iguais a zero.

$$E_{ci} + E_{pi} = 0.$$

Conhecendo a energia cinética e a energia potencial gravitacional a uma distância  $r$  do centro da Terra, tem-se:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} + \left( - \frac{G \cdot m_t \cdot m}{r} \right) = 0;$$

Podemos então definir a velocidade de escape pela expressão matemática:

$$v_{escape} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot m_t}{r}}.$$

Observa-se que a velocidade de escape não depende da massa do objeto a ser lançado e sim do corpo celeste. Assim, a velocidade mínima para que o objeto não retorne é sempre a mesma.

### 3.3 MOVIMENTO DOS SATÉLITES

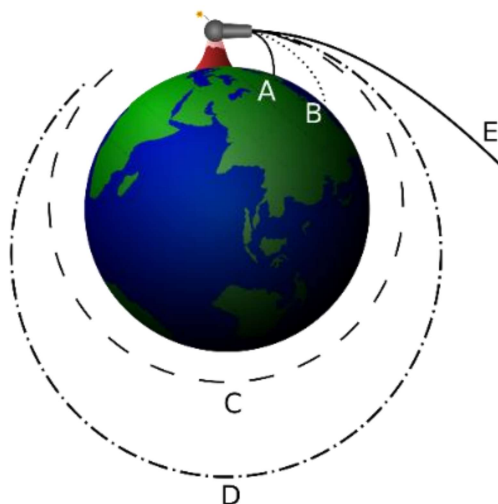
Os satélites fazem parte do nosso cotidiano. Embora não sejam vistos, eles são a base de muitas das tecnologias presentes em nosso mundo. Alguns são usados para o sistema de GPS, para fins meteorológicos, comunicação, pesquisas e também existem aqueles que são considerados como lixo espacial, por estarem desativados. Existem mais de 12 mil objetos orbitando a Terra, no entanto, quais são os princípios e aspectos que fazem com que esses objetos permaneçam em órbita?

Para início do entendimento, questiona-se como é possível colocar um satélite em órbita e o mesmo permanecer orbitando a Terra, fala-se, assim, do lançamento de projéteis.

Analisando a seguinte situação: Imagina-se um canhão no topo de uma montanha muito alta na Terra, onde o mesmo, quando acionado, dispara um projétil com uma determinada velocidade. Esse projétil descreve uma trajetória parabólica e, logo, cairá perto da base da montanha, como ilustrado na letra A.



Figura 3: Newton bala de canhão



Fonte: Koppens, 2019.

Aumentando a sua velocidade, observa-se que ele cairá cada vez mais afastado, representado pela letra B. Agora, considera-se o formato esférico da Terra, a partir do momento em que a velocidade aumenta e, à medida que o projétil vai caindo, a Terra se encurva em seu plano inferior, até chegar em uma velocidade, suficientemente, alta, a ponto do projétil conseguir dar a volta, sem retornar ao solo, representado pelas letras C e D. As trajetórias A, B, C e D são consideradas órbitas fechadas e a letra E órbita aberta, em que cada vez mais se afasta da Terra.

Muitos dos satélites descrevem órbitas quase circulares, parecidas com as realizadas pelos planetas do nosso sistema solar. Em uma órbita circular, a única força atuante será a força gravitacional, que é a resultante centrípeta, apontada para o centro da órbita, caracterizando o movimento dos satélites como circular uniforme, mantendo a velocidade constante (YOUNG; FREEDMAN, 2015).

No movimento de queda, realizado pelo satélite, a sua velocidade que é tangencial à órbita circular é necessária para manter a distância do centro da Terra e não cair. Essa velocidade que permanece constante, pode ser obtida levando em consideração as características do movimento circular e a lei da gravitação universal. Sendo o raio da trajetória, medido desde o centro da Terra e a aceleração

centrípeta tendo o módulo igual a  $a = \frac{v^2}{r}$ , calcula-se a velocidade responsável pelo movimento do satélite, usando a lei da gravitação e a segunda Lei de Newton. Como o intuito é conseguir-se chegar na velocidade, é só igualar:

$$m \cdot a = G \cdot \frac{m_t \cdot m}{r^2}.$$

Substituindo a aceleração, tem-se:

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot m_t}{r}}.$$

Observa-se que a velocidade não depende da massa do satélite, apenas da massa da Terra e do raio da órbita. Não é possível escolher a velocidade sem se atentar para o raio, tendo eles uma relação unívoca (YOUNG e FREENDMAN, 2015).

O período T é o tempo gasto para se dar uma volta completa em torno da Terra e podendo relacioná-lo com o raio da órbita, sabendo que a velocidade pode ser definida:

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}.$$

E o período:

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{V}$$

Então,

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot r^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{G \cdot m_t}}.$$

Analisando essas duas equações, pode-se observar que, em órbitas maiores, a velocidade é menor e o período maior.

### 3.4 LEIS DE KEPLER E O MOVIMENTO DOS PLANETAS

Johannes Kepler nasceu no ano de 1571, na cidade da Alemanha Weil der Stad, tendo uma vida bastante conturbada. Formou-se pela universidade Tübingen, e foi professor de matemática na universidade de Graz, na Áustria. Por apoiar o Heliocentrismo foi pressionado a deixar a cidade, e mudou-se para Praga, tornou-se auxiliar do astrônomo Tycho Brahe, que, por sua vez, tinha condições financeiras e políticas para se dedicar à Astronomia. Após a morte de Tycho Brahe, Kepler herdou todo o seu enorme acervo de observação, construído devido ao apoio financeiro do governo dinamarquês, que possibilitou a construção de um centro de pesquisa com instrumentos de alta precisão. Foi apoiado nas observações de Tycho Brahe que Johannes Kepler formulou as suas três leis que demonstram o movimento planetário.

#### 3.4.1 PRIMEIRA LEI DE KEPLER

Também conhecida como a Lei das Órbitas, essa é a primeira das três leis que Kepler formulou com um método de tentativa e erro. Foi publicada em 1609, no livro *Astronomia nova* e define que os planetas se movimentam descrevendo uma órbita elíptica em torno do Sol, estando ele em um dos focos da elipse (YOUNG; FREEDMAN, 2015).

Com essa lei, Kepler contradiz a definição de Copérnico, em relação às órbitas dos planetas, que segundo ele estariam em uma órbita circular.

A elipse, geometricamente, é uma curva que possui um eixo maior e um eixo menor. No eixo maior, define-se dois pontos, que podem ser denominados como foco F1 e F2, tais que a soma da distância desses dois focos, para qualquer ponto da elipse, é constante, não varia.

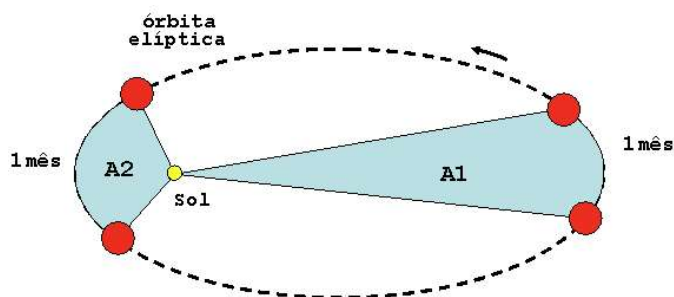
A excentricidade de cada elipse varia, de acordo com a distância entre seus focos. Para uma excentricidade maior, seus focos devem estar mais afastados, deixando mais achatada, já para uma excentricidade menor, essa distância diminui, fazendo com que ela se aproxime de uma circunferência. As excentricidades das órbitas dos planetas são próximas de zero, fazendo com que se aproximem de uma circunferência.

Em suas órbitas, os planetas, quando localizados na região mais próxima do Sol, estão no periélio (ponto de menor distância entre o planeta e o Sol) e, quando se localizam na região mais afastada do Sol, estão no afélio (ponto de maior distância entre o planeta e o Sol).

#### 3.4.2 SEGUNDA LEI DE KEPLER

Essa lei que descreve o movimento planetário é chamada de Lei das Áreas. Utilizando dados precisos do planeta Marte, Kepler observou que quando o planeta estava mais próximo do Sol, movia-se com uma velocidade maior que aquela possuída quando orbitando mais afastado (YOUNG; FREEDMAN, 2015).

Figura 4: Imagem representativa da segunda lei de Kepler



Fonte: QG do Enem, 2016.

A razão entre a área e o intervalo de tempo é um valor constante para cada planeta e denomina-se velocidade areolar.

$$\frac{A_1}{t_1} = \frac{A_2}{t_2}$$

A velocidade de translação, denominada velocidade escalar orbital dos planetas, não é constante. Quando o planeta está próximo ao periélio terá uma velocidade maior que próximo ao afélio.

### 3.4.3 TERCEIRA LEI DE KEPLER

Também conhecida como a Lei dos Períodos, a terceira lei é publicada por Kepler, em 1618, no livro V da Harmonia dos Mundos. Tendo os dados precisos dos períodos e do raio médio de cada planeta, a terceira lei de Kepler define que o quadrado do período orbital é, diretamente, proporcional ao cubo do raio médio do planeta, sendo a razão entre eles igual para todos. Sendo:

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} = \frac{T_3^2}{R_3^3} = \dots = K \quad .$$

A constante de Proporcionalidade K não depende das características específicas de cada planeta, levando em consideração somente a massa do Sol, podendo enunciar-se a terceira lei de Kepler também da seguinte forma:

$$T^2 = K \cdot R^3.$$

O período de translação de um planeta em torno do Sol é proporcional ao raio de sua órbita, indicando que quanto mais afastado o planeta esteja do Sol, maior será o tempo para completar o seu movimento de translação (YOUNG; FREEDMAN, 2015).

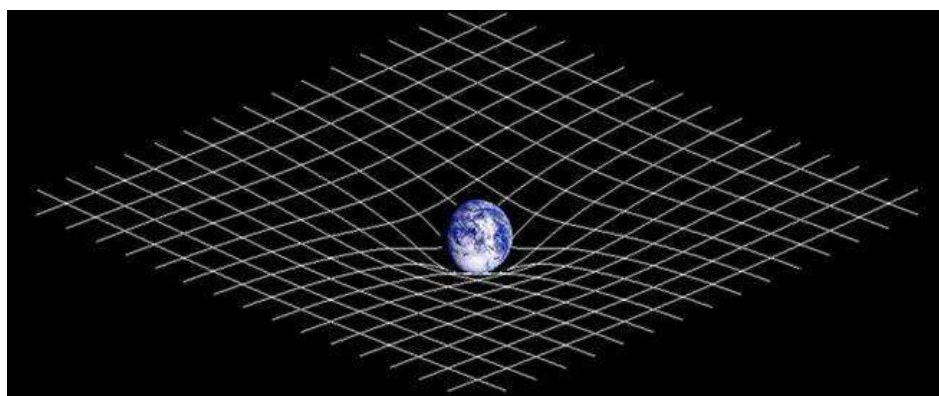
## 3.5 BURACOS NEGROS

Com a teoria da Relatividade Restrita, construída por Albert Einstein, que estabeleceu que o tempo e espaço não são mais absolutos, agora todas as teorias criadas para descrever fenômenos que se desenrolam em um tempo absoluto e um espaço absoluto deveriam se adequar às novas propriedades da Relatividade

Restrita. Uma delas é a lei da gravitação universal de Isaac Newton, que parte do princípio de resposta instantânea a ação (MATSAS e VANZELLA, 2008).

Einstein iniciou a sua jornada rumo à reformulação do conceito da gravidade com o que ele mesmo intitulou como o seu pensamento mais feliz. Através deste experimento mental, chegou no princípio da equivalência, que diz que, observações realizadas num referencial uniformemente acelerado são indistinguíveis daquelas realizadas na presença de um campo gravitacional. Portanto, a gravidade pode ser eliminada pelo movimento de queda livre, como também simulada pela aceleração. Além disso, Einstein sabendo que teria que associar dois tipos de movimento, o de queda e o da trajetória em linha reta, utilizou uma matemática que até então não tinha sido usada na Física. Imaginou que a estrutura do espaço-tempo fosse curva, assim todas as partículas que tendessem a se movimentar em uma trajetória retilínea, seriam obrigadas a acompanhar a curvatura do espaço-tempo, dando origem aos diversos movimentos de queda livre que podemos ter num campo gravitacional, definindo a Gravidade como uma manifestação da curvatura no espaço-tempo, causada por corpos com determinadas massas como mostra na imagem seguinte.

Figura 5: Curvatura no espaço-tempo



Fonte: Wikipedia, 2015.

Essa teoria foi comprovada no ano de 1919 através de um eclipse, tendo suas evidências mais precisas e nítidas coletadas nas cidades de Sobral, Fortaleza, Brasil e na Ilha de Príncipe, onde basicamente os cientistas britânicos buscavam calcular o ângulo de deflexão da luz de uma estrela, ocasionada pela ação

gravitacional do Sol (DAMÁSIO; VILLELA, 2009; CASTIÑEIRAS; CRISPINO, 2004). Segundo a teoria da Relatividade Geral a expressão matemática da deflexão é:

$$\theta = \frac{4GM}{c^2R},$$

onde G é a constante gravitacional, M a massa do corpo, c a velocidade da luz e o R a distância do raio até o centro do corpo.

Ao se calcular o desvio de estrelas distantes cuja a luz sofre a ação da deformação do espaço-tempo causada pelo Sol a deflexão estimada foi de 1,74". Em 1801 o físico, matemático e astrônomo Johann Georg von Soldner usando princípios da teoria newtoniana obteve o valor de 0,87", sendo a metade do valor deduzido por Einstein um século depois. Ao se analisar os resultados obtidos através das duas excursões para Sobral e a Ilha do Príncipe na África os resultados experimentais considerando as margens de erros, foram de 1,98" ± 0,12" em Sobral e 1,61" ± 0,30" na Ilha do Príncipe, onde estava nublado no dia em que ocorreu o eclipse (ZYLBERSZTAJN, 1989).

Não obstante, mesmo antes da comprovação, em 1915 a primeira guerra mundial foi o palco de uma grande descoberta, onde o astrofísico Karl Schwarzschild servindo a Alemanha no front russo, estando hospitalizado, devido a uma enfermidade analisa o manuscrito da teoria da Relatividade Geral publicada por Einstein.

Dedicou-se a estudar e analisar essa nova teoria e desenvolveu um trabalho que investigava o campo gravitacional na região externa de uma estrela. Os resultados alcançados por ele sugeriram simplesmente que estrelas compactas o suficiente, estariam envoltos de uma região considerada de não retorno. O que Schwarzschild na verdade tinha conseguido era uma solução da Relatividade Geral que descreve o buraco negro (HORVATH e CUSTÓDIO, 2003).

Segundo Schutz (2003) a solução encontrada por Schwarzschild é a equação descreve exatamente o campo gravitacional em torno de uma estrela esférica:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) c^2 (dt)^2 + \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)^{-1} (dr)^2 + r^2 [(d\theta)^2 + \text{sen}^2 \theta (d\varphi)^2].$$

Para chegar a métrica de Schwarzschild foi necessário partir de um elemento de linha geral que possibilitou apresentar as simetrias esféricas contidas no problema. Acima,  $(d\theta)^2 + \text{sen}^2 \theta (d\varphi)^2$  é a parte angular do elemento de linha. M é a massa do buraco negro que está em combinação com a constante G e c parametrizando o raio de Schwarzschild  $R_s$ .

Buraco negro é o nome dado a uma região do espaço onde a gravitação é imensa, devido ao acúmulo excessivo de matéria e energia, fazendo com que nada possa escapar de seu interior. A superfície que delimita a região de não retorno é conhecida como horizonte de eventos,  $r = R_s$ , de modo tal que nenhum observador fora dessa região consiga ver o que tem dentro (HORVATH e CUSTÓDIO, 2003). O centro do horizonte de eventos de um buraco negro de Schwarzschild,  $r=0$ , é uma singularidade, isto é, região do espaço-tempo de densidade infinita, onde as leis da Física atualmente conhecidas perdem a validade.

Em uma situação hipotética, ao se aproximar de um buraco negro, o que vai determinar seu retorno ou não é horizonte de evento. Caso o observador ultrapasse essa linha imaginária, ele nunca poderá retornar, sua viagem seguirá rumo ao interior do buraco negro. Não existe nenhuma sinalização que indique esse limite. O que se pode fazer é calcular a curvatura nessa região, sendo proporcional a  $1/M^2$ , quanto maior o buraco negro, menor será a curvatura no horizonte (SCHUTZ, 2003).

A desaceleração do tempo perto de um buraco negro possui efeitos mensuráveis, tanto no deslocamento para o vermelho gravitacional, como cronologicamente. Por exemplo, o tempo que se passa próximo ao horizonte do



evento, passa muito lentamente, comparado com o tempo na Terra. Isso significa que alguns dias em uma viagem nas proximidades do buraco negro corresponderão a anos passados na Terra (SCHUTZ, 2003).

Toda a energia de um buraco negro está concentrada em uma região chamada de singularidade, que podemos expressar como um ponto matemático, onde toda a matéria é compensada até virar parte dela. Localizada em  $r = 0$ , a singularidade se encontra em uma região onde a curvatura espaço-tempo é infinitamente grande, provocando graves efeitos na matéria que se aproxima dela. A força de maré é imensa, fazendo com que seja praticamente impossível a sobrevivência no encontro com a singularidade.

Esses objetos existem desde o início dos tempos, porém só com o avanço e desenvolvimento das técnicas de observação do Universo, que conseguimos conhecê-los melhor. Não conseguimos vê-los devido a sua própria característica peculiar, mas o seu grande poder gravitacional tem grande influência em seu entorno, fazendo com que a sua vizinhança seja drasticamente alterada. Ao analisarmos as órbitas em volta de um buraco negro, poderemos por exemplo descobrir qual é a sua massa (COUPER e HENBEST, 1996). O campo gravitacional no exterior de uma estrela de massa  $M$  é o mesmo para um buraco negro de mesma massa. Isso só acontece porque o campo gravitacional de um objeto esférico não depende do raio do corpo e sim da sua massa. Se uma estrela qualquer de massa  $M$  se transformar em um buraco negro as órbitas não sofrerão alterações (SCHUTZ, 2003).

O quanto uma estrela ou qualquer outro corpo celeste precisa ser compactado para ser considerado um buraco negro, aprisionando tudo, inclusive a luz, dependerá de alcançar um raio crítico, denominado raio de Schwarzschild. Esse raio terá em suas fronteiras o horizonte de eventos, e pode ser obtido utilizando a equação de velocidade de escape, onde será relacionada a massa do corpo com o seu raio. Já sabemos que a maior velocidade obtida no universo é a da luz, logo qualquer corpo que tenha a velocidade de escape maior ou igual, aprisionará tudo. Então basta substituir a velocidade de escape pela velocidade da

luz para obtermos o raio máximo para um corpo ser considerado um buraco negro (YOUNG e FREENDMAN, 2015).

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R_S}}$$

Explicitando  $R_S$ ,

$$R_S = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}$$

Outro fator que se deve considerar é a densidade do material ao se transformar em um buraco negro. A densidade necessária para formar um buraco negro é inversamente proporcional ao quadrado de sua massa, ou seja, para formação de um buraco negro de pequena massa, necessitará de uma compressão em a alta densidade, já um buraco negro maior necessitará de ser comprimido em uma baixa densidade. A densidade típica para que se forme um buraco negro é da ordem de  $2 \times 10^{17} \text{ kg m}^{-3}$ , onde a repulsão nuclear é insuficiente para parar o colapso. Buracos negros de massa 10 vezes a massa do Sol se forma exatamente nessa escala de densidade nuclear. Para a formação de um buraco negro com massa igual à do Sol, precisaríamos comprimir a uma densidade 100 vezes maior que a densidade nuclear. Já para a formação de miniburaco negro a densidade necessária é tão grande que pesquisas afirmam que eles só poderiam ser formados pouco tempo depois do Big Bang no momento em que a densidade nuclear estava na escala de  $10^{56} \text{ kg m}^{-3}$  (SCHUTZ, 2003).

Existem vários buracos negros, e de todos os tamanhos. Temos os supermaciços, localizados nos centros das galáxias, surgidos desde do princípio do Universo, os miniburacos, que foram diminuindo ao passar do tempo, e os provenientes de estrelas, no qual, o fim de uma estrela muito massiva resulta na formação de um buraco negro. As estrelas são gigantescas fornalhas de fusão nuclear, e que quando perde o seu combustível, começam um processo de desequilíbrio entre a pressão sofrida pela fusão e a força gravitacional, fazendo

com que as estrelas comecem a colapsar. Considerando uma estrela com uma massa suficientemente grande, esse colapso terá como resultado uma explosão titânica denominada supernova, e mesmo que se perca matéria, ainda assim existiria matéria suficiente para que colapse totalmente, formando assim o buraco negro (COUPER e HENBEST, 1996).

O buraco negro mais próximo da Terra está a mais de 1000 anos-luz de distância, tornando muito difícil sabermos por meio de experimentação o que aconteceria se uma pessoa fosse engolida por um desses insaciáveis objetos do cosmo. Mas a teoria da Relatividade de Einstein revela intrigantes fatores e acontecimentos dessa jornada rumo ao interior de um buraco negro.

Para explorarmos mais essa situação, vamos imaginar um homem que, em um ato heroico, se candidata a explorar o interior de um buraco negro. Para isso, uma excursão de físicos e astronautas sairá da Terra rumo ao destino desejado. Enquanto esse corajoso astronauta realiza o seu feito, os demais estarão na astronave monitorando tudo. Observado então, o homem devidamente trajado com uma roupa de astronauta começa sua jornada. A espaçonave está a uma distância segura, fora da última órbita estável. Cientes de que o espaço e tempo supostamente são afetados pelos buracos negros, os integrantes monitoram o relógio de pulso, e também observam a luz emitida por seu traje. Nos primeiros minutos da viagem, nada parece fora do normal, seu relógio de pulso continua a marcar o tempo igual ao do relógio no painel de controle. À medida que se aproxima do horizonte de eventos, algumas coisas começam a acontecer, os que estão na nave observam que o relógio de pulso do astronauta começa a funcionar lentamente, e a luz começa a ficar mais avermelhada, devido à perda de energia na luta contra a gravidade (MATSAS e VANZELLA, 2008).

Além desses acontecimentos observados, o homem começa a perceber que seu corpo está sendo esticado, devido ao intenso efeito de maré nas regiões do buraco negro. A gravidade atua mais forte em seu pé do que na cabeça, e por isso que provavelmente ele será esticado como um espaguete, denominando esse fenômeno de espaguetificação. Caso o buraco negro escolhido seja supermassivo, esse efeito poderá ser amenizado dando a oportunidade de sobreviver. Nos

demais, embora quem esteja observando na nave verá sua imagem congelada devido à Gravidade afetar tragicamente o tempo e o espaço em seu entorno, Finkelstein ao reescrever a solução de Schwarzschild de forma diferente, descobriu que o homem continuaria seu trajeto, embora tendo uma morte agonizante sendo despedaçado até se tornar parte a singularidade.

Esse efeito de espaguetificação é do mesmo tipo responsável pelas marés altas e baixas que ocorrem diariamente, onde a terra sofre os efeitos gravitacionais da lua, esticando-a em sua direção.

Os buracos negros são caracterizados basicamente por sua massa, carga e rotação. Mesmo possuindo uma estrutura básica, com uma singularidade em seu centro e um horizonte de eventos, há diferentes tipos de buracos negros, sendo eles:

Buraco negro de Schwarzschild: Não possui carga e nem rotação, tendo uma estrutura simples, formada apenas por um horizonte de eventos e uma singularidade (COUPER e HENBEST, 1996).

Figura 6: Buraco negro de Schwarzschild



Fonte: Própria

Buraco negro de Reissner-Nordstrom: Sua solução foi obtida em 1918, e sua estrutura não possui rotação mas possui carga. Além de ter uma singularidade, dispõe de dois horizontes de eventos, um interno e outro externo (COUPER e HENBEST, 1996).

Figura 7: Buraco negro de Reissner-Nordstrom



Fonte: Própria

Buraco negro de Kerr: Suas características o diferenciam dos outros, possuindo uma singularidade e dois horizontes de eventos, um interno e outro externo, o seu movimento de rotação arrasta consigo o tecido espaço-tempo, formando uma região denominada ergosfera. Uma região que obriga toda a matéria girar no mesmo sentido da sua rotação (COUPER e HENBEST, 1996).

Figura 8: Buraco negro de Kerr



Fonte: Própria

Provar a existência de algo que não se pode ver foi um dos grandes desafios da ciência. Embora esses astros do cosmo tenham em sua principal característica o aprisionamento até mesmo da luz, tornando um objeto invisível, os efeitos que eles causam em sua redondeza são, sem dúvida, catastróficos, tornando-se um meio de revelá-los. O primeiro candidato a buraco negro foi o Cygnus X-1 e a sua companheira supergigante. Estando em uma órbita binária, eles chamaram a atenção dos estudiosos e pesquisadores, quando observaram que a companheira dessa estrela supergigante era invisível, e a emissão de raios x indicaram uma violenta atividade na região. Essa emissão ocorre devido ao escoamento do gás da estrela para o buraco negro formando o disco de acreção, que ao se aproximar do horizonte e evento, vai adquirindo velocidade elevadas o suficiente para que ao se atritarem aumente sua temperatura emitindo os raios x (MATSAS e VANZELLA, 2008).

Os cientistas acreditam que existem inúmeros buracos negros no Universo. Considerando que a grande maioria das estrelas está em um sistema binário, os buracos negros provenientes dessas estrelas acabam preservando essa condição. Os resultados das observações de fontes de raio x mostram uma abundância desses sistemas, levando os especialistas a acreditarem que essas fontes são provenientes de buracos negros que possuem como companheira uma estrela. Essa especulação se fortalece ainda mais quando a massa desses objetos se

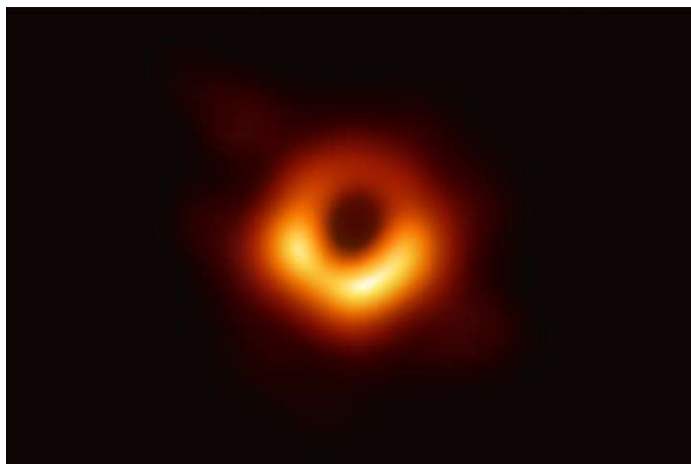
aproximadamente 10M, descartando a possibilidade de ser uma estrela de Nêutrons (SCHUTZ, 2003).

Recentemente com o avanço da tecnologia e a dedicação de cientistas que se dedicam a desenvolver pesquisas na área da Cosmologia, um projeto denominado Event Horizon Telescope (EHT) fotografou de forma não formal um buraco negro supermassivo localizado na galáxia M87, a 53 milhões de anos-luz de nós.

O buraco negro de M87 é 6,5 bilhões de vezes a massa do Sol em uma distância em quilômetros de  $5 \cdot 10^{20}$  km da Terra. Sendo um objeto que é delimitado por uma região que não permite a emissão de luz, como foi possível fotografá-lo? Essa, sem dúvida, foi uma das recentes conquistas mais impressionantes da ciência atualmente, além de confirmarem novamente a existência desses corpos celestes, essa conquista possibilitou que conhecêssemos aquilo que só víamos através da teoria.

Fotografar não é bem a palavra correta que devemos usar, devido ao processo que realmente foi realizado para conseguir a primeira imagem do buraco negro. Como uma entidade que não possui tamanho, cercada por uma região que não permite a luz escapar, o que se pode observar é o disco de acreção, que é o anel de poeira em torno do buraco negro, que emite radiação ao se atritar, e é essa radiação emitida pelo disco de acreção que tem um papel importantíssimo na construção da imagem a seguir:

Figura 9: Primeira imagem do buraco negro



Fonte: Galileu, 2019.

Para coletar as informações necessárias deste buraco negro, projeto EHT foi criado para tornar esse experimento possível, utilizando telescópios em diferentes países para coletarem as informações e juntarem os sinais recebidos por eles. Esses telescópios são projetados para captarem sinais de rádios, ou seja, são denominados radiotelescópios. Esses sinais após coletados e unificados, foram processados para a criação da primeira imagem do buraco negro.

O anel brilhoso na imagem foi a principal estrutura observada e fonte dos sinais de rádio recebidos. Todo esse brilho se dá devido aos discos de acreção, onde a matéria é superaquecida em dezenas de milhões de Kelvin, possuindo velocidades relativísticas. A diferença de brilho no anel presente na imagem é porque se trata de um buraco negro que possui rotação. O material orbitando o buraco negro também está girando e isso significa que quando o material está girando em nossa direção ele fica mais brilhante do que quando está girando para uma direção contrária.

Bem na parte escura localizada na parte central da imagem está o horizonte de evento onde delimita a região de não retorno, revelando a silhueta do buraco negro.



Embora a imagem pareça está borrada, devido à distância em que se encontra, lembrando que quanto maior a distância menor o objeto parece ser, todos os esforços valeram muito a pena com esse resultado obtido.

Outro grande desafio da física atualmente é o desenvolvimento de uma teoria consistente em gravitação quântica, que harmoniza a relatividade geral e a mecânica quântica, tornando essa área muito promissora e considerada a base de muitas respostas. Duas teorias que pareciam totalmente dissociadas, em 1970 tomam rumos incrivelmente inesperados. O físico Robert Geroh acusa os buracos negros de violarem a segunda lei da termodinâmica (entropia), que para ele a consequência da principal característica dos buracos negros, o aprisionamento de tudo, contrariaria o aumento da desordem do Universo, levantando várias questões pertinentes a esse fenômeno (MATSAS e VANZELLA, 2008).

Foi Jacob Beckenstein o primeiro a se mobilizar e se dedicar a responder e contra argumentar a acusação levantada contra o buraco negro. Usando uns dos trabalhos de Stephen Hawking, ele conjecturou que os buracos negros possuem entropia sim e que esse aumento da desordem seria proporcional a área do horizonte de eventos (MATSAS e VANZELLA, 2008).

A solução proposta por Jacob Beckenstein foi bem inesperada. Segundo ele:

$$S = \frac{KA}{4l_p^2},$$

onde K é constante de Boltzmann, A é a área e  $l_p$  é a distância em que as interações gravitacionais são quantizadas, o chamado comprimento de Planck.

Com isso toda a matéria que caísse dentro do buraco negro aumentando o seu tamanho aumentaria também sua entropia, fazendo com que a entropia do universo nunca diminuísse (HORVATH e CUSTÓDIO, 2003).

Porém outro questionamento foi levantado por John Wheeler devido a essa nova contribuição. Se o buraco negro tivesse mesmo entropia, ele deveria ter outras particularidades da termodinâmica, como a temperatura, que resultaria em emissão de radiação (MATSAS e VANZELLA, 2008).

Hawking, no intuito de responder a esse questionamento, dedicou-se a examinar as propriedades do espaço-tempo e seus efeitos em torno do buraco negro. Descobriu por meio da resolução das equações que um observador estático distante de um buraco negro proveniente de uma estrela conseguiria observar um conjunto de partículas de temperaturas bem definidas (MATSAS e VANZELLA, 2008).

Isso porque o intenso campo gravitacional perturba o vácuo quântico fazendo com que partículas virtuais sejam criadas. Esses pares de partículas-anti-partículas se anulam em um tempo estimado de  $\Delta t = \frac{h}{\Delta E}$ , sendo  $h$  a constante de Planck e  $E$  a energia. Porém ao se formarem em torno do buraco negro, a partícula positiva consegue escapar e a negativa adentra no mesmo. Como consequência desse evento, perderia energia (HORVATH e CUSTÓDIO, 2003).

Para buracos negros estáticos a sua temperatura seria inversamente proporcional a sua massa, indicando que quanto menor, maior a sua temperatura e mais rápido evaporariam:

$$T = \frac{hc^3}{2KGM},$$

onde  $h$  é a constante de Planck,  $c$  a velocidade da luz,  $K$  constante de Boltzmann,  $G$  constante gravitacional e  $M$  a massa do buraco negro.

Para buracos negros supermassivos isso não significa muito, devido ao seu tamanho a temperatura é muito baixa, mas para os miniburacos negros onde suas temperaturas são altas, devido à quantidade de massa, essa consequência é mais

relevante. Para os buracos negros primordiais com massa próxima de  $10^{12}$  kg, o seu fim estaria acontecendo agora (SCHUTZ, 2003).

Sem dúvida que as contribuições de Hawking ajudaram a responder algumas questões, porém outra lei estava sendo violada, a de conservação de informação. Não importa a que nível de desordem seja submetido determinado sistema, as informações não se perderiam, como supostamente aconteceriam com a evaporação de um buraco negro. Questão difícil de resolver, mas uma explicação provável seria que ao final da vida dos buracos negros, ficariam umas estruturas que conteriam todas as informações (MATSAS e VANZELLA, 2008).

## **4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

### **4.1 OS SUJEITOS DA PESQUISA**

O Processo de avaliação, análise e validação da SEI foi realizado com alunos da primeira, segunda e terceira séries da educação básica da Escola Estadual de Ensino Médio Leandro Escobar e com professores com ampla experiência no ensino por investigação e na atuação em rede de ensino da educação básica.

#### **4.1.1 CARACTERÍSTICAS DO ALUNO**

Foram convidados vinte alunos matriculados na escola anteriormente já mencionada para participarem do processo de validação da SEI, e apenas treze alunos participaram. Para caracterizarmos melhor o perfil dos alunos e entendermos a participação de apenas sessenta e cinco por cento dos alunos convidados, precisamos conhecer um pouco a escola e sua localização.

A Escola Estadual de Ensino Médio (EEEM) Leandro Escobar, fica localizada no bairro Perocão do município de Guarapari - ES. A escola atende principalmente jovens do bairro e de bairros limítrofes, onde a grande maioria da população é constituída por menos favorecidos. A estrutura é constituída por sete salas de aulas, um refeitório pequeno, sala dos professores, secretaria e uma quadra descoberta. Não possui laboratórios e nem biblioteca. Boa parte dos alunos precisam conciliar os estudos com afazeres domésticos e para ajudarem na renda familiar muitos trabalham no período que não estão na escola.

No período da pandemia, onde as aulas presenciais foram suspensas e implementas aulas remotas, somente uma pequena parcela conseguiu dar continuidade aos estudos e realizaram as atividades planejadas e executadas pelos professores. Isso porque muitos não possuem acesso à internet e equipamentos necessários para as aulas.

Mesmo possuindo uma estrutura muito ruim, a escola conta com uma equipe pedagógica e administrativa muito dedicada em não comprometer o acesso a uma educação de qualidade por essa falta de equipamentos e espaço físico adequado. A estrutura e a condição sócio-econômica dos alunos de certa forma não são uma barreira para os professores da escola desenvolverem seu trabalho.

Levando em consideração todas as limitações apresentadas, foram escolhidos alguns alunos para participarem do processo de validação da sequência, foram treze participantes de diferentes séries.

#### 4.1.2 CARACTERÍSTICAS DOS PROFESSORES

Os professores participantes do processo de validação possuem grande experiência no ensino por investigação e na aplicação de SEI em sala de aula. São mestres e mestrandos que já se apropriaram da abordagem investigativa e que no dia a dia em sala de aula desenvolvem trabalhos introduzindo novas práticas para o ensino de Física. São participantes do Grupo de Pesquisa em Formação Docente, Linguagem e Cultura na Educação em Ciências (GPFEC), onde visam o compartilhamento e desenvolvimento de pesquisas para melhorias nas práticas de ensino da ciência e na divulgação científica.

Todos estão ou já atuaram na rede básica e possuem uma vasta experiência no ensino de Física em sala de aula. Eles conhecem as limitações e dificuldades da rede pública de ensino e possuem experiência no planejamento e na aplicação de atividades com abordagem investigativa.

#### 4.2 TIPO DE PESQUISA

Para a realização da pesquisa apropriamo-nos da pesquisa de natureza quali-quantitativa, que permite a corroboração do resultado de um método com o outro, proporcionando uma melhor interpretação dos dados coletados, ampliando o alcance da pesquisa (SOUZA, 2018).

A coleta de dados foi realizada através de questionários fechados, com possibilidade de exposição de opinião em um campo destinado e uma gravação de áudio e vídeo do momento de colaboração coletiva entre os professores participantes da pesquisa.

Em todo o processo, apoiados no instrumento de análise, avaliação e validação de sequências didáticas de Roldi (2015), buscamos o aprimoramento e a validação a priori do material didático da sequência de ensino por investigação (SEI).

### **4.3 ETAPAS DO TRABALHO**

#### **4.3.1 A SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO (SEI)**

Todo o processo se iniciou com a construção da sequência de ensino investigativo abordando o tema Gravidade nos contextos da Física Clássica e da Física Moderna e Contemporânea. O pensar e construir atividades que fogem do tradicionalismo das salas de aulas e introduzem práticas diferenciadas que possibilitam aos alunos saírem da zona de conforto e passem a ser protagonistas do processo de construção do conhecimento foi o objetivado a todo o momento. Para a construção das atividades que compõe a SEI, nos apropriamos das concepções de Sá (2007), Carvalho (2014), Solino e Sasseron (2018) e Coelho e Ambrózio (2019), destacando a importância da problematização para o convite e estímulo de uma atitude mais reflexiva e de maior liberdade intelectual.

A sequência foi pensada e construída para ser aplicada para turmas da primeira série do ensino médio da educação básica para trabalhar o conceito da Gravidade ao longo de sua construção. A sequência é composta por onze aulas, sendo uma atividade introdutória para acessar as concepções iniciais dos alunos, quatro atividades investigativas de questões abertas, uma atividade histórica-investigativa e uma demonstração experimental investigativa.

A proposta da SEI, após ser construída passou por um processo de validação por pares a priori, sendo analisada por estudantes da rede pública e professores com experiências na aplicação de atividades investigativas em sala de

aula. Terminando essa etapa de avaliação, as atividades foram repensadas e a sequência reelaborada segundo as contribuições apresentadas pelos colaboradores. A SEI em seu formato final e completo se encontra no Apêndice A desta pesquisa.

No quadro 01 apresenta-se um panorama geral da SEI, indicando o tema da atividade, tempo de duração, objetivos conceituais, procedimentais e atitudinais e a característica do processo investigativo.

#### Panorama Geral da SEI

<b>Título da atividade</b>	<b>Tempo da atividade</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Característica</b>
Atividade do modelo planetário	2 aulas	<p><b>Conceituais:</b> Compreender a organização do nosso sistema solar e a disposição e movimentação dos corpos celestes nele existentes.</p> <p><b>Procedimentais:</b> Confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses e apresentar fatos.</p> <p><b>Atitudinais:</b> Expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias,</p>	Atividade introdutória para acessar as concepções iniciais.

			desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura investigativa mediante uma situação-problema.	
Atividade das órbitas dos satélites	1 aula		<p><b>Conceituais:</b> Compreender os conceitos iniciais sobre Gravidade, as órbitas dos planetas, diferenciar satélites naturais e artificiais, refletir sobre sua importância e entender velocidade, período, força gravitacional, aceleração e velocidade de escape.</p> <p><b>Procedimentais:</b> Confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses, apresentar fatos e produzir texto/desenho.</p> <p><b>Atitudinais:</b> Expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias, desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura</p>	Questão aberta



		investigativa mediante uma situação-problema.	
Atividade de velocidade de escape	1 aula	<p><b>Conceituais:</b> Compreender a velocidade de escape e suas aplicações.</p> <p><b>Procedimentais:</b> Confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses, apresentar fatos, generalizar para outros contextos e produzir texto/desenho.</p> <p><b>Atitudinais:</b> Expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias, desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura investigativa mediante a uma situação-problema.</p>	Questão aberta
Atividade construindo uma linha do tempo	3 aulas	<p><b>Conceituais:</b> Compreender a Relatividade Geral de Albert Einstein, mostrando historicamente a construção do conceito da Gravidade e a necessidade</p>	Histórica- investigativa

		<p>de uma nova teoria para responder questões que a lei da gravitação universal de Newton não respondia com precisão. Refletir sobre a história dos buracos negros, os físicos que contribuíram e como se encontra o cenário da pesquisa atual.</p> <p><b>Atitudinais:</b> Expor ideias, respeitar o posicionamento e pensamento divergentes, questionar ideias e desenvolver um posicionamento crítico.</p>	
Demonstração da cama elástica	1 aula	<p><b>Conceituais:</b> Compreender a deformação do tecido espaço-tempo, suas consequências e como Albert Einstein descreve a Gravidade.</p> <p><b>Procedimentais:</b> Confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses, apresentar fatos, generalizar para outros contextos.</p>	Demonstração investigativa

		<p><b>Atitudinais:</b> Expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias, desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura investigativa.</p>	
Atividades de buracos negros	1 aula	<p><b>Conceituais:</b> Compreender conceitos iniciais dos buracos negros, o efeito da gravidade nesses corpos, tipos de buracos negros, horizonte de evento e singularidade.</p> <p><b>Procedimentais:</b> Confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses, apresentar fatos, generalizar para outros contextos e produzir desenho.</p> <p><b>Atitudinais:</b> Expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias, desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura</p>	Questão aberta

		investigativa mediante a uma situação-problema.	
Atividade do raio de Schwarzschild	1 aula	<p><b>Conceituais:</b> Compreender o raio crítico (Raio de Schwarzschild) para que um determinado corpo seja considerado um buraco negro capaz de aprisionar até a luz.</p> <p><b>Procedimentais:</b> Confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses, apresentar fatos, generalizar para outros contextos e produzir texto/desenho.</p> <p><b>Atitudinais:</b> Expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias, desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura investigativa mediante a uma situação-problema.</p>	Questão aberta
Atividade da espaguetificação do astronauta	1 aula	<p><b>Conceituais:</b> Compreender os efeitos de maré em um buraco negro e associá-los às marés</p>	Questão aberta

		<p>altas e baixas do nosso cotidiano.</p> <p><b>Procedimentais:</b>          Confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses, apresentar fatos, generalizar para outros contextos e produzir texto/desenho.</p> <p><b>Atitudinais:</b> Expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias, desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura investigativa mediante uma situação-problema.</p>	
--	--	--	--

Todas as atividades foram construídas com o propósito de estabelecer um ambiente de aprendizagem colaborativo. Para Solino e Sasseron (2018) nesses ambientes existem interações e trocas de pensamentos, ideias, informações e opiniões entre os sujeitos envolvidos, instituindo um ambiente interativo, onde os alunos têm liberdade de expor suas opiniões e de forma colaborativa resolverem o problema a eles apresentados.

#### 4.3.2 O instrumento de avaliação, análise e validação da SEI para os professores

Para o processo de validação da sequência de ensino investigativo (SEI), apoiou-se no instrumento de análise, avaliação e validação de Roldi (2015) e Guimarães e Giordan (2011). Por se tratar de uma sequência investigativa, algumas alterações e aprimoramentos foram feitos para ampliar nossa pesquisa e tornar viável um resultado mais consistente, possibilitando um direcionamento para uma construção de um material didático que atenda os pressupostos da abordagem investigativa.

Os parâmetros avaliados e analisados pelos professores foram:

A – ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO: Esse grupo de análise está dividido em quatro itens de avaliação. Tem como função avaliar aspectos de apresentação das SEI e sua organização, dessa forma faz-se necessário a observância dos elementos organizacionais de relação, clareza linguística, componente temporal e articulação entre o texto de física e as atividades propostas.

Os parâmetros a serem analisados e avaliados são:

1. Qualidade e originalidade da SEI: Neste item avaliativo deve-se observar a originalidade da sequência didática e se existem outras propostas muito parecidas e se a SEI é inovadora.
2. Clareza e inteligibilidade da proposta: A SEI precisa possuir uma redação clara e direta, contendo todas as explicações necessárias para seu desenvolvimento. Deve-se considerar se, conforme redigida, as explicações são suficientes para um entendimento do que é proposto e como esta deve ser aplicada em sala de aula.
3. Adequação do tempo segundo as atividades propostas e sua executabilidade: O tempo é sempre uma variável importante nas atividades educacionais e também um fator limitante nas situações de sala de aula.
4. Coerência Interna da SD: Não é interessante que as situações-problema se restrinjam apenas a uma apresentação inicial de questionamentos a serem

elucidados mediante a conceituação apresentada nas aulas, e sim, que se construa por meio de uma estrutura a articulação entre diversos elementos de ensino.

**B- SITUAÇÃO-PROBLEMA:** O problema em uma atividade investigativa é um elemento importante, que conduz o aluno ao processo de solução, resultando na produção de conhecimento científico. Sendo o ponto de partida, precisa estar bem articulado, organizado, ser intrigante e desafiador, para que possibilite a sua resolução, permitindo aos alunos uma diversificação de suas ações (Carvalho, 2013; Solino e Sasseron, 2018).

Os parâmetros a serem analisados e avaliados são:

1. O Problema: É necessário observar se a escolha do problema e sua formulação foram construídas segundo a temática proposta, se é atual e principalmente se é suscetível à investigação. A situação-problema precisa promover um engajamento dos alunos. Devem ser, potencialmente, interessantes e permitir uma diversificação de ações para a sua resolução.
2. Articulação entre os conceitos e a situação-problema: Deve existir estreita relação entre a situação-problema das atividades e os conceitos chaves, pois tais conceitos precisam ser capazes de contribuir para a solução do problema apresentado, para que se alcancem os objetivos que tal atividade se propõe.
3. Contextualização de Problema: Com este critério pretende-se avaliar se a situação-problema é acompanhada de uma contextualização que permite um melhor entendimento e compreensão do problema a ser resolvido.
4. O problema e sua resolução: Espera-se que se chegue à sua resolução no decorrer do desenvolvimento das atividades. Dessa forma, faz-se necessário avaliar a possibilidade de resolução, sem o direcionamento do professor.

**C – CONTEÚDOS E CONCEITOS:** A aprendizagem em Física não se limita apenas a compreensão de conceitos, mas articula-se aos domínios processuais e

atitudinais da ciência, para que se alcancem os objetivos educacionais propostos, englobando inúmeras competências atribuídas aos alunos.

Os parâmetros a serem analisados e avaliados são:

1. Objetivos: Os objetivos estabelecem as intenções educativas as quais certa proposta de ensino se determina.
2. Conhecimentos Conceituais, Procedimentais e Atitudinais: Diferenciar conceitos de aprendizagem segundo uma determinada tipologia contribui para identificar com maior precisão as intenções educativas, pois essa intenção se reflete na relação de importância que se atribui a cada um dos conteúdos.
3. Tema, Fenômeno, Conceitos: Pretende-se avaliar aqui se os conceitos desenvolvidos pela SD fornecem elementos para a discussão do fenômeno proposto segundo o tema de ensino.

D – CARACTERÍSTICA DA ABORDAGEM DE ENSINO: O ensino por investigação é uma abordagem que está atrelada a uma concepção de educação democrática e de ciência como empreendimento público que busca aproximar a aprendizagem em ciências das práticas, normas e linguagem da ciência por meio de atividades problematizadoras que buscam o desenvolvimento da autonomia discente e os insere em outro modo de pensar: que é o modo de pensar da ciência (Silva Junior; Coelho, 2020).

1. Ambiente democrático: pretende-se avaliar aqui se as atividades desenvolvidas, no decorrer da SEI promovem um ambiente de diálogo (aluno/aluno e aluno/professor), valorizando a autonomia e a participação ativa dos estudantes, permitindo múltiplas interpretações que desencadeiam debates.
2. Envolvimento intelectual do aluno: O processo de aprendizagem não pode ter como centralidade o professor e seu discurso unilateral, é necessário que em todo o processo valorize a autonomia e participação do aluno e que a autoridade epistêmica seja compartilhada na sala de aula.



3. Interação social: As atividades devem promover interações e diálogos que permitam uma aprendizagem baseada na troca de experiências e no debate.
4. Aplicar e avaliar teorias científicas: A apropriação dessas teorias científicas se viabiliza quando esse conhecimento é utilizado na resolução de um problema estabelecidos em um processo investigativo.
5. Sistematização: É o momento em que se promove um diálogo permitindo aos alunos exporem o que fizeram para chegarem a resolução do problema. Nessa etapa com a mediação do professor se faz a sistematização dos conceitos trabalhados durante a atividade.

E – AVALIAÇÃO: Quando se trabalha em sala de aula uma abordagem que foge do modelo tradicional de ensino, a forma de avaliar precisa estar de acordo com o processo de ensino-aprendizagem em que os alunos são inseridos. Dessa forma é necessário avaliar o método de avaliação utilizado na SEI.

1. Métodos de avaliação: Os métodos de avaliação devem ser condizentes com os objetivos e conteúdo (conceituais, procedimentais e atitudinais) propostos. Então o que se avalia deve se relacionar diretamente com o que se pretende ensinar.
2. Avaliação integradora: Deve-se verificar também se a avaliação é integrada ao longo da SEI ou apresentada no final.
3. Feedback de Avaliação: Quando a avaliação possui objetivo formativo os resultados desta avaliação servem de informação para compreender os avanços alcançados, as dificuldades enfrentadas pelos alunos e estabelecer as atitudes a serem tomadas.

#### 4.3.3 O INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO, ANÁLISE E VALIDAÇÃO DA SEI PARA OS ALUNOS

O instrumento de avaliação, análise e validação da SEI para os alunos visa avaliar o interesse em relação ao tema das atividades, a compreensão dos

procedimentos e desenvolvimento das atividades propostas, clareza dos textos e se o método de avaliação está de acordo com a proposta da sequência.

Os parâmetros analisados e avaliados pelos alunos são:

1. Tema: Neste tópico deve-se avaliar o tema a ser abordado nas aulas, sua originalidade e se o mesmo desperta o interesse.
2. Clareza e compreensão: as atividades precisam possuir uma redação clara e direta, contendo todas as explicações necessárias para seu desenvolvimento. Deve-se considerar se, conforme redigida, as explicações são suficientes para um entendimento do que é para realizar.
3. Método de avaliação: o método de avaliação deve ser condizente com os objetivos e conteúdos propostos, e informado com clareza antes do início das atividades.

#### 4.3.4 COLETAS DE DADOS

A coleta dos dados ocorreu através do instrumento de validação dos professores e dos alunos e um momento de colaboração coletiva entre os professores participantes da pesquisa.

Inicialmente os professores receberam por e-mail a sequência de ensino por investigação e um formulário contendo o instrumento de validação de professores, onde eles tiveram de analisar a SEI e avaliar todos os parâmetros. Da mesma forma, os alunos receberam as atividades para analisarem e um formulário contendo o instrumento de avaliação de alunos para avaliarem. Para cada parâmetro deveriam atribuir um valor de suficiência, sendo:

1 (Discordo totalmente): No caso em que, para o parâmetro analisado, o material não alcance na visão do avaliador um valor de suficiência.

2 (Discordo): No caso em que, para o parâmetro analisado, o material alcance na visão do avaliador um valor de suficiência baixo.

3 (Indiferente): No caso em que, para o parâmetro analisado, o material não alcance na visão do avaliador nenhum valor de suficiência.

4 (Concordo): No caso em que, para o parâmetro analisado, o material alcance na visão do avaliador um valor de suficiência alto.

5 (Concordo totalmente): No caso em que, para o parâmetro analisado, o material alcance na visão do avaliador um valor de suficiência máximo.

Para o formulário utilizamos a ferramenta do Google formulário, viabilizando e facilitando esse processo de análise e avaliação de forma remota. Treze alunos responderam o formulário do instrumento de validação dos alunos e 5 professores responderam o formulário de validação dos professores.

Após o período de análise e avaliação da SEI através do instrumento de validação, foi marcado via e-mail um encontro com os professores participantes para um bate papo, onde todos de forma colaborativa puderam dar sugestões e fazer apontamentos embasados nos pressupostos do ensino por investigação e na experiência vivenciada por cada um na aplicação e no desenvolvimento de atividades com abordagem investigativa no ensino de Física na sala de aula.

O encontro com os professores foi realizado através da plataforma Meet, devido ao período de pandemia causado pelo Covid-19. A reunião foi gravada com consentimento de todos os participantes. Foram cinco participantes, sendo três que responderam o formulário e dois participantes pertencentes ao grupo de pesquisa GPFEC.

Todos esses dados, tanto os coletados no processo realizado com os professores participantes, quanto o coletado no processo realizado com os alunos foram analisados levando em consideração os pressupostos da abordagem

investigativa e da introdução da FMC para um aprimoramento e validação do material construído e proposto para o ensino da gravitação.

## **5 ANÁLISES E RESULTADOS**

Nesta seção serão apresentados os resultados das análises realizadas por professores e estudantes sobre a SEI (UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA NO ENSINO DE FÍSICA: DAS TEORIAS DE GRAVITAÇÃO AOS BURACOS NEGROS). Esse processo é uma etapa fundamental no processo de validação, pois permite ao professor ressignificar as atividades em termos do conteúdo, estrutura e estratégias, no sentido de manter coerência com a abordagem didática assumida na sequência (que, no caso, é o ensino por investigação) e o nível educacional dos estudantes (ensino médio).

### **5.1 A ANÁLISE DOS PROFESSORES**

Cinco professores responderam o formulário e fora, com as respostas encaminhadas por eles que a análise foi realizada. Para preservar a identidade dos professores colaboradores usamos nomes fictícios para cada professor, sendo eles, Ana, João, Marcos, Paula e Pedro.

O instrumento de validação da SEI possui cinco grandes categorias a serem analisadas, sendo elas:

- (i) – Estrutura e organização;
- (ii) – Situação-problema;
- (iii) – Conteúdos e conceitos;
- (iv) – Características da abordagem de ensino;
- (v) – Avaliação.

#### **5.1.1 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO**

A primeira categoria busca contribuir para que se compreenda a qualidade e originalidade da SEI (A1); clareza e inteligibilidade da proposta (A2); adequação do tempo (A3) e coerência interna da SEI (A4).

O gráfico a seguir apresenta as respostas obtidas, através do formulário de análise, avaliação e validação de SEI dos cinco professores participantes.

Figura 10: Gráfico de análise das respostas da categoria de estrutura e organização



Fonte: Própria

No parâmetro que analisa a originalidade, os colaboradores concordam que a sequência é original e inovadora, como indica o comentário feito pelo professor João.

*João: Vejo a proposta como sendo original, inovadora e ousada por abordar um tema complexo.*

Segundo Santos Batista e Siqueira (2017), a inserção de tópicos da FMC contribui tanto para diminuir a defasagem de conteúdo existente no ensino de Física, quanto para contribuir para práticas de atividades inovadoras, em sala de aula. A articulação entre a FMC e o ensino por investigação objetiva o envolvimento

dos alunos com problemas que envolvem temas da contemporaneidade de modo a contribuir para a apropriação conceitual, neste campo, e desenvolver o pensar crítico e científico, contrapondo o ensino tradicionalista.

No parâmetro que analisa clareza e inteligibilidade da proposta, os professores participantes concordam que a SEI dispõe de uma escrita clara, possuindo todas as informações necessárias para sua aplicação em sala de aula.

Ao se construir uma sequência didática com objetivo de produção de material com potencialidade de adentrar novas práticas de ensino, em sala de aula, sua aplicabilidade por outros professores é essencial e importantíssima. Para que isso seja possível o texto precisa ser claro e possuir todas as informações necessárias para que outros professores consigam desenvolvê-las em suas turmas. Segundo Guimarães e Giordan (2013) a validação de sequência didática permite a reelaboração, com intuito de fazer melhorias, utilizando as experiências vivenciadas e relatadas durante o processo. Isso permite ao professor modificar e corrigir, a fim de alcançar o objetivo da construção de um material de apoio para que outros professores utilizem.

No parâmetro que analisa a adequação do tempo, segundo as atividades propostas e sua executabilidade, alguns participantes apontaram para uma possível falta de tempo no desenvolvimento e executabilidade de algumas atividades, como mostra o comentário da professora Ana.

*Ana: Pela minha experiência, eu repensava o tempo de algumas das atividades como a dos satélites (atividade 2) e a espaguetificação do astronauta (atividade 9), pois são atividades, que acho, que poderiam ser melhor aproveitadas com um pouco mais de tempo.*

No encontro virtual com os professores, indícios da necessidade de repensar o tempo das atividades, também, foram apontadas pelo professor Pedro:

*Pedro: Eu gostaria de fazer um comentário bem rapidinho em relação ao tempo das atividades... eu acho que pensando eu como professor, aplicando essas atividades né. Eu não me vejo aplicando muitas delas no tempo que você propõe.*

Sabe-se que o tempo é um fator importantíssimo ao se planejar uma atividade investigativa. Para que, realmente, ocorra uma aprendizagem efetiva dos conceitos que estão sendo trabalhados é necessário que os alunos tenham tempo suficiente para explorarem suas ideias e questões. A gestão do tempo de cada atividade realizada é de responsabilidade do professor. Ele precisa estar atento às necessidades e ao ritmo de cada turma, para ser capaz de disponibilizar o tempo adequado para que não haja desmotivação, em casos de tempos muito prolongados, ou prejuízos no processo de resolução de problemas, em casos de disponibilização de pouco tempo.

As atividades investigativas, normalmente, necessitam de mais tempo para sua realização, dificultando a adaptação e a aplicação, em sala de aula, com o tempo que a disciplina de Física tem disponível.

É com base no resultado desse parâmetro e dos comentários pertinentes a esse tópico que foi analisado e repensado o tempo de cada atividade.

Além de modificar o tempo de duração de algumas atividades, orientou-se aos professores que, futuramente, aplicarão a SEI em suas turmas, da importância de organização das atividades a serem desenvolvidas, em sala de aula. O professor deverá estipular um tempo para cada etapa a ser trabalhada. O tempo proposto poderá ser modificado, de acordo com a demanda e a necessidade de cada sala de aula. O que se propõe na SEI é um tempo mínimo para execução de cada atividade que leva em consideração a experiência dos professores avaliadores (e o que a literatura vem apontando) sobre os tempos de diálogo, negociação e sistematização das ações em sala de aula.

No parâmetro que analisa coerência interna da SEI começam a surgir alguns sinais de fragilidade, em relação às situações-problema de algumas atividades e seu potencial para engajar estudantes, no processo de investigação. Segundo o professor João:

*João: O professor precisa prover meios para que os alunos investiguem e não apenas discutam, com base no conhecimento prévio. Algumas situações-*



*problema são abstratas e se aproximam mais de perguntas do que de problemas a serem solucionados. Há um excesso de conteúdos de física nas aulas.*

A partir desse tópico que se inicia a identificação de algumas fragilidades nos problemas das atividades e em alguns aspectos que caracterizam a abordagem investigativa, que será analisada, com mais profundidade, nos parâmetros seguintes.

### 5.1.2 SITUAÇÃO-PROBLEMA

Essa categoria busca analisar as situações-problema de cada atividade com cunho investigativo, por meio de quatro parâmetros, sendo eles o problema; a articulação entre os conceitos e a situação-problema; a contextualização de problemas e o problema e sua resolução.

Segundo Carvalho (2013) e Solino e Sasseron (2018) o problema é extremamente importante para que o processo de investigação dos estudantes ocorra. Elas ainda defendem que o problema é o principal mecanismo de motivação e, para que isso ocorra, eles precisam ser desafiadores, intrigantes e muito bem organizados e articulados com a proposta.

Os problemas didáticos são aqueles que o professor apresenta, em forma de perguntas ou situações hipotéticas, que ocasionará um desequilíbrio intelectual nos alunos, fazendo com que eles se interessem em buscar uma resolução (SOLINO; SASSERON, 2018). Esses problemas podem ser experimentais, de forma que exista a necessidade de os objetos de estudo serem testados, manualmente, pelos alunos ou pelo professor ou teóricos que utilizam de análises de textos, gráficos, imagens e ideias para a resolução do problema (CARVALHO, 2013).

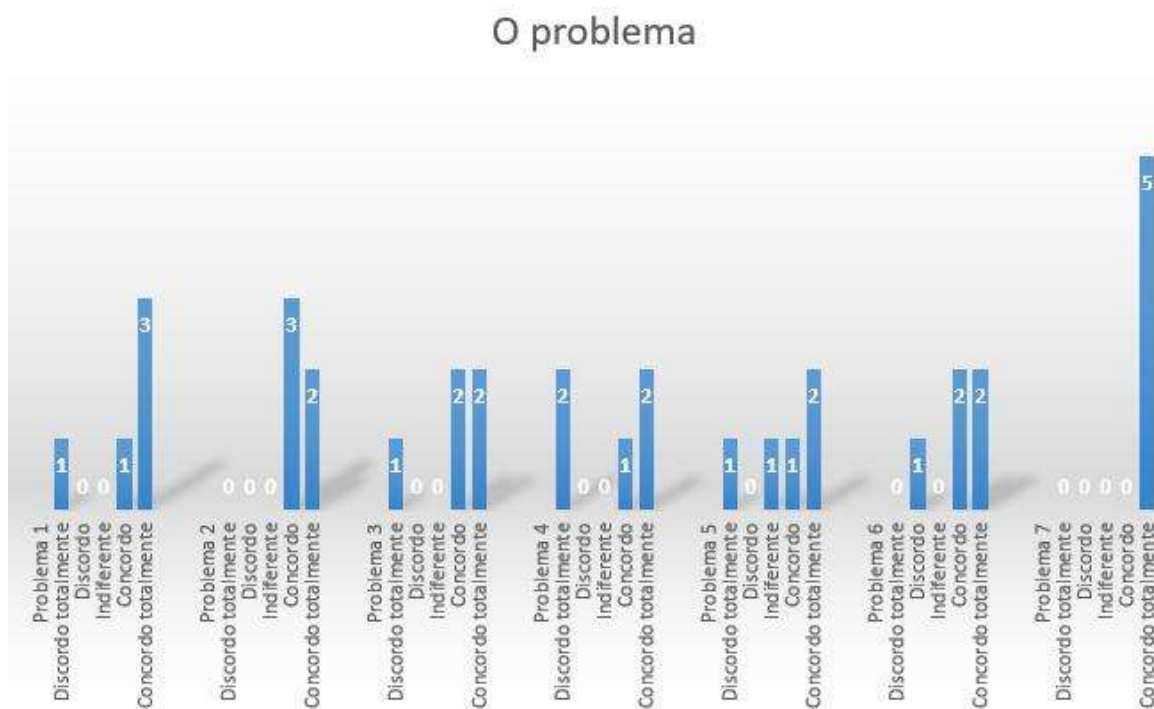
Sendo o problema didático, teórico ou experimental, em uma SEI os problemas precisam ser construídos e planejados com a potencialidade de engajar os estudantes, levando-os a terem um olhar diferente para algo que já é familiar, possibilitando que entrem em um processo de resolução, interação entre os

envolvidos, troca de significados e construção de novos sentidos. Para isso, é necessário que o problema, sendo ele aberto, com muitas possibilidades de respostas ou fechado com apenas a possibilidade de uma resposta, não tenha uma resolução imediata, permitindo que os alunos levantem e testem hipóteses, discutam, questionem e compartilhem seus posicionamentos, mediante as tentativas de resolução.

O professor é o principal responsável por mediar todo o processo de aprendizagem por investigação, desde a apresentação do problema como também na criação de um ambiente investigativo. Segundo Solino e Sasseron (2018), o professor deve também se preocupar em criar mecanismos para que a investigação aconteça.

Para Borges (2002), o problema se caracteriza em uma situação perturbadora e incompleta que leva os alunos a resolverem, utilizando os conhecimentos prévios de um determinado conceito. Porém, existem tópicos da física para os quais o grau de abstração exigido é muito elevado, fazendo necessário o uso de materiais de apoio para a investigação. O professor deverá se preocupar, não apenas em apresentar o problema e fazer sua mediação, mas, em criar e preparar materiais de apoio para que os alunos pesquisem e realizem suas investigações, sem que haja um bloqueio e ruptura no processo, por falta de conhecimento de alguns tópicos que estejam sendo trabalhados na abordagem. Apesar de uma boa avaliação dos problemas, por parte dos professores participantes, em que a maioria concorda que os problemas apresentados são autênticos, permitindo conduzir investigação na sala de aula, como mostra o gráfico, foi por meio dos comentários e da interação com os professores no encontro virtual que algumas fragilidades foram apontadas.

Figura 11: Gráfico de análise das respostas da categoria do problema



Fonte: Própria

No parâmetro que analisa o problema, algumas fragilidades foram apontadas nos comentários.

*Marcos: Na sua estratégia didática da demonstração da cama elástica tem alguns questionamentos iniciais para orientar a demonstração, mas você não definiu uma situação problema...Na atividade sobre buracos negros, eu entendi seu objetivo com a atividade e o que espera que os alunos tragam para o debate, mas a pergunta em si me parece muito diretiva. Pensando na pergunta, se o estudante responde Buraco Negro a pergunta em si fica respondida. Acho que vale repensar a pergunta. Só para deixar claro, acho a situação problema boa, a questão é apenas como ela é apresentada para o estudante.*

O professor Marcos citou duas atividades em que, em sua concepção de problema e sua experiência no desenvolvimento de atividade investigativa, existem fragilidades. Na atividade de demonstração investigativa, ele indica que não há uma situação-problema inicial e na atividade dos buracos negros sinaliza para o fato de

existir uma pergunta direta, em que a resposta permite que seja sim ou não, ou que pode ser resolvido sem que haja um processo de investigação por parte dos alunos.

Indícios dessa fragilidade foram constatados no encontro entre os professores participantes, quando a professora Paula menciona a situação-problema da atividade dos satélites.

*Paula: ...eu acho que o exercício legal, Izaías, é realmente olhar de novo para suas situações-problema e pensar como os alunos te responderiam. Aí eu peguei a primeira situação-problema aqui, e diz assim. Por que os satélites como a lua, os artificiais e outros não caem sobre a superfície da Terra? Então se eu fosse aluno eu poderia responder, não sei... tentar transformar a sua pergunta, de forma que o aluno não traga uma resposta tão vaga...*

Mais uma vez, os participantes indicam a necessidade de repensar os problemas, de forma que não sejam perguntas muito diretas, permitindo que os alunos respondam, vagamente, comprometendo o processo de investigação.

No parâmetro que analisa a articulação entre os conceitos e a situação-problema, é importante identificar se há uma estreita relação entre os problemas e os conceitos-chave. Para os professores uma única atividade apresentou fragilidade: a atividade demonstrativa da cama elástica como indica o gráfico.

Figura 12: Gráfico de análise das respostas da categoria de articulação entre os conceitos e a situação-problema



Fonte: Própria

Essa mesma atividade foi citada pelo professor Marcos, anteriormente, em que sinaliza para a falta de uma situação-problema inicial. Então essa estreita relação entre a situação-problema e os conceitos chave foi comprometida por não considerarem que exista um problema inicial na atividade de demonstração investigativa da cama elástica.

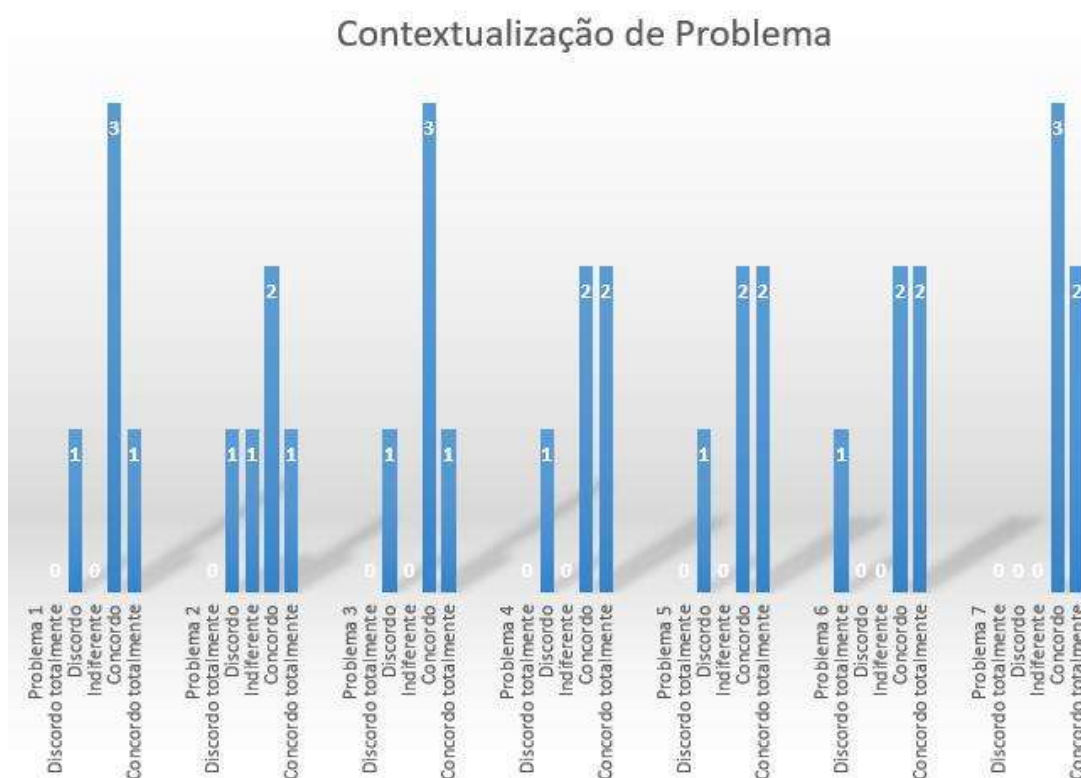
Segundo Solino e Sasseron (2018) o problema se caracteriza como um artifício didático-pedagógico, tornando um elemento muito importante para intermediar no processo de conceituação científica pelos alunos.

Levando em consideração os apontamentos realizados pelos professores participantes, assumiu-se que a atividade da cama elástica assumirá a característica de uma demonstração experimental, mediada pelo professor, com uma postura questionadora e problematizadora, mesmo que não haja uma situação-problema inicial, característica das atividades investigativas. A atividade

foi pensada e construída para que, durante a sua aplicação, o professor problematize situações, uma vez que os problemas mantêm certa relação com os conceitos, contribuindo para o processo de aprendizagem.

No parâmetro, que analisa a contextualização de problema, foram expressadas as seguintes respostas, no gráfico.

Figura 13: Gráfico de análise das respostas da categoria de contextualização de problema



Fonte: Própria

Indícios de que a contextualização poderia melhorar surgiram, no comentário do formulário de análise, avaliação e validação de SEI.

Comentário do professor João:

*João: No caso da atividade dos satélites, acredito que poderia haver uma contextualização melhor, por meio de um texto sobre o assunto para melhor familiarizar o aluno com o problema.*

Por se tratar de temas da Física, bem abstratos, o professor sugere que um texto introdutório seja disponibilizado para que haja uma melhor contextualização para os alunos.

Promover a contextualização do conhecimento, no ensino de Física, é extremamente importante para que os alunos consigam compreender a sua aplicabilidade em situações sociocientíficas, tecnológicas, históricas, fazendo com que haja produção de conhecimento em contextos, possibilitando, portanto, uma leitura mais ampliada da realidade (SOLINO, SASSERON, 2018; CARVALHO, 2013). Segundo Carvalho (2013, p 13),

[...] as contextualizações em atividades podem ser feitas por perguntas muito simples, como “No seu dia a dia, onde vocês podem verificar esse fenômeno?”, levando aos alunos a imaginarem o fenômeno estudado em sala de aula em suas realidades.

A mesma autora aponta para a necessidade de textos complementares para a contextualização de problemas mais elaborados e complexos. Como na sequência existem níveis de complexidade e abstração diferentes, utilizamos desses dois pressupostos, para analisar e modificar as atividades, a fim de deixá-las mais contextualizadas.

No parâmetro que analisa o problema e sua resolução, há indicadores de que, devido ao grau de abstração do tema e sua complexidade, a resolução não poderia ocorrer.

Figura 14: Gráfico de análise das respostas da categoria do problema e sua resolução



Fonte: Própria

Segundo Carvalho (2013) o problema em uma atividade investigativa deverá, além de ser de fácil manuseio, ter uma resolução sem que haja uma exaustão, por parte dos alunos, seja devido à complexidade da pergunta ou por falta de meios para investigar. É para essa perspectiva que o comentário do professor João leva a refletir.

*João: Sempre parto do princípio que alguma possibilidade existe, afinal, não podemos subestimar os alunos. Mas acho pouco provável, dado a falta de meios para investigar o problema... e o grau de abstração elevado.*

Neste comentário o professor aponta para a necessidade de materiais de apoio como meios que viabilizem o processo de investigação, devido ao grau de abstração elevada de alguns temas trabalhados. O mesmo professor retoma essa discussão, no encontro virtual, ao se identificar, dizendo que:

*:João: Eu que comentei a questão dos meios de investigação, é uma coisa que me chamou a atenção...aí pergunta: você vai dar um tempo para os alunos*



*discutirem? Aí, um fala: eu acho que é isso, eu acho que é aquilo, e aí beleza. Como eles vão se contra argumentar, retrucar ou confirmar, sem um meio de investigação?*

Neste momento, o professor reforça a necessidade de, no SEI, haver um material de apoio para que os alunos pesquisem e investiguem o problema proposto. A sugestão dada, pelo professor João, foi a utilização de materiais escritos, textos, reportagens, dentre outros, já que não se trata de atividades experimentais em que os meios de investigação são os próprios experimentos.

Em comentário no formulário, a professora Paula apontou para uma vertente em relação à avaliação da possibilidade de resolução.

*Paula: Na verdade essa é uma questão difícil de mensurar, pois a busca pela solução depende de fatores muito característicos de cada aula, como o empenho dos estudantes e a sua mediação ao longo das investigações. Mas, acredito que a possibilidade da solução é real.*

Essa resposta leva a refletir a dificuldade de analisar esse parâmetro, devido à característica de cada grupo de aluno e da importância da mediação do professor, no processo de investigação. Ressalta-se, neste momento, que a intenção em validar essa sequência de ensino investigativo é de minimizar, por meio desse processo, os problemas que poderiam surgir por motivos de mau planejamento das atividades. Considerando que pode caracterizar-se como uma SEI, apenas após sua aplicação, assume-se que o objetivo é a construção de uma sequência, potencialmente, investigativa (SOUZA, 2020).

Levando em consideração o resultado do formulário de análise, avaliação, validação de SEI e a discussão das características fundamentais de uma situação-problema, para se construir uma atividade de cunho investigativo, foram feitas alterações, visando a uma melhoria significativa da sequência de ensino investigativo, que resultará no produto educacional. No quadro comparativo das mudanças realizadas, nas situações-problemas, sistematizaram-se as modificações realizadas, a partir dessa análise.

<b>Quadro comparativo das mudanças realizadas nas situações-problemas</b>		
<b>Atividade</b>	<b><i>Situação-problema, antes do processo de análise, avaliação e validação de SEI</i></b>	<b><i>Situação-problema depois do processo de análise, avaliação e validação da SEI</i></b>
Atividade das órbitas dos satélites	Por que os satélites como a lua, os artificiais e outros não caem sobre a superfície da Terra?	Os satélites são corpos que orbitam um planeta ou outros corpos maiores e podem ser naturais, como, por exemplo, a Lua ou artificiais, construídos pelo homem e colocados em órbita para determinadas utilidades. Você já parou para pensar, como isso é possível? Qual a importância dos satélites para a humanidade? Como os satélites conseguem se manter em órbita? Por que eles não caem? Por que eles não vão para o espaço?
Atividade de velocidade de escape	Você, provavelmente, já jogou algo para cima e observou que, após um determinado tempo, ele retornou. Seria possível lançar um objeto de forma que ele não retorne para a Terra?	Você, provavelmente, já jogou algo para cima e observou que, após um determinado tempo, ele retornou. Será que tudo que é lançado para cima retorna à superfície da Terra? O que poderia ser feito para que um objeto não retorne, após ser lançado? Caso seja possível qual a sua aplicabilidade?
Atividade dos buracos negros	Sabe-se que para um objeto sair da atmosfera de um corpo celeste, ele precisa atingir uma velocidade de escape mínima, capaz de vencer a força gravitacional do mesmo. Existe no universo algo capaz de aprisionar tudo?	Sabe-se que para um objeto sair da atmosfera de um corpo celeste, ele precisa atingir uma velocidade de escape mínima, capaz de vencer a força gravitacional do mesmo. Será que existe algum corpo celeste cuja velocidade de escape seja maior que a velocidade limite existente, a velocidade da luz? Caso exista, o que acontece com toda a matéria existente nesses corpos? Pode-se estabelecer algum tipo de contato com a matéria existente dentro dele? O que aconteceria se o homem se aproximasse desses objetos?

Atividade de raio de Schuarszchild	Se o Sol se tornar um buraco negro, o que aconteceria com a órbita e a vida do planeta Terra?	Se o Sol se tornar um buraco negro, o que aconteceria com a órbita e a vida do planeta Terra?
Atividade da espaguetificação	Imagine que, observada por seus colegas na espaçonave, uma astronauta começa uma jornada, rumo ao encontro de um buraco negro. A espaçonave está a uma distância segura, fora da última órbita estável. Cientes de que o espaço e tempo, supostamente, são afetados pelos buracos negros, os integrantes monitoram o relógio de pulso da corajosa astronauta e também observam a luz que vem dela. Nos primeiros minutos da viagem rumo ao buraco negro, nada parece fora do normal, seu relógio de pulso – que os membros da espaçonave veem, através de um telescópio – continua a marcar o tempo igual ao do relógio, no painel de controle. Nesse momento ela começa a se aproximar do horizonte de evento do buraco negro. O que acontecerá com a astronauta quando ela ultrapassar esse limite?	Imagine que, observada por seus colegas na espaçonave, uma astronauta começa uma jornada, rumo ao encontro de um buraco negro. O que acontecerá com a astronauta quando ela ultrapassar o horizonte do evento? Será que há possibilidade de existir vida dentro de um buraco negro?

Única situação-problema que não foi modificada, por entender, durante o processo que não haveria a necessidade, é da atividade do raio de Schwarzschild.

### 5.1.3 CONTEÚDO E CONCEITOS

Esta categoria intenta avaliar os conteúdos e conceitos, analisando se os objetivos estabelecem as intenções educativas as quais são propostas pelo ensino, se há a diferenciação de cada conceito de aprendizagem que permite identificar, com maior precisão, as intenções educativas e se o tema, fenômenos e conceitos fornecem elementos para a discussão do fenômeno proposto, segundo o tema de ensino.

Como mostra o gráfico das respostas obtidas, através do formulário eletrônico, a sequência contemplou todas as competências necessárias para que se alcançasse os objetivos educacionais.

Figura 15: Gráfico de análise das respostas da categoria do conteúdo e conceitos



Fonte: Própria

Como podemos observar no gráfico os parâmetros Objetivos (C1), Conhecimentos Conceituais, Procedimentais e Atitudinais (C2) e Tema, Fenômeno e Conceitos (C3) tiveram uma boa avaliação dos professores participantes. A grande maioria concorda, totalmente, que os objetivos são claros e informados, possuindo vínculo com as situações-problema. As atividades e conceitos viabilizam o desenvolvimento dos conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais, ao longo da sequência, e analisam se os conceitos são pertinentes para o estudo do tema. Essa categoria não obteve nenhuma outra observação no encontro virtual, caracterizando uma boa avaliação, por parte dos professores participantes.

#### 5.1.4 CARACTERÍSTICAS DA ABORDAGEM DE ENSINO

Esta categoria intenciona analisar as características da abordagem de ensino em cinco parâmetros: o ambiente democrático (D1), envolvimento intelectual do aluno (D2), interação social (D3), aplicação e avaliação de teoria (D4) e sistematização (D5), que segundo de Sá (2007); Coelho (2020); Silva Júnior e Coelho (2020); Carvalho (2018) são características importantes para viabilizar o processo de investigação.

Segundo a análise das respostas do formulário de análise, avaliação e validação da SEI, de forma geral as respostas apontam que a sequência possui as características essenciais para promover um ambiente investigativo, segundo mostra o gráfico abaixo.

Figura 16: Gráfico de análise das respostas da categoria das características da abordagem de ensino



Fonte: Própria

Ao analisar os parâmetros individuais, os comentários e as discussões, na reunião virtual, identificam-se alguns pontos que necessitavam de melhorias.

No parâmetro que analisa o ambiente democrático, que envolve compreender se as atividades viabilizam o diálogo entre aluno/aluno e aluno/professor, sobre a valorização da autonomia dos alunos e a sua participação, o professor João apontou para um ponto que poderia, no momento do desenvolvimento das atividades, em sala de aula, inviabilizar esse ambiente democrático.

*João: ...acho que o ambiente democrático depende da mediação do professor, é claro né, se ele permite que o ambiente seja democrático, valorizando as falas e promovendo aquele ambiente adequado né, para os alunos discutirem e participarem. Mas também, depende do tema que está sendo discutido. Às vezes o tema é tão complexo que mesmo que os alunos se sintam à vontade para participarem, às vezes eles não sabem nem fazer alguma pergunta sobre o que está sendo feito, de tão complexo é o tema...*

Segundo o professor João, esse ambiente democrático poderia ser comprometido, devido à dificuldade e complexidade do tema proposto e trabalhado. Para João, a maneira de viabilizar esse ambiente seriam os meios de investigação. Compartilhados com os alunos que teriam condições de assumir uma postura mais ativa e questionadora, possibilitando a ampliação da autonomia intelectual dos estudantes almejados na abordagem.

Outro ponto importante, que esse professor aponta em sua fala, é a importância do professor na construção de um ambiente investigativo na sala de aula. Segundo Coelho e Ambrósio (2019), é por meio da mediação pedagógica do professor que é possível promover a argumentação, proceder com uma postura problematizadora e questionadora, introduzir e selecionar ideias. Em todo o processo, o professor trabalha em conjunto com os alunos, com isso o ambiente democrático se estabelece na sala de aula, não sendo mais o professor repassador de conteúdos e responsável, junto com os estudantes por todo processo, no qual os conceitos e práticas sociais são estabelecidas na resolução dos problemas propostos (NASCIMENTO; SASSERON, 2019; COELHO, 2020).

No parâmetro que analisa o envolvimento intelectual dos alunos, os professores consideram que as atividades atendem essa característica, porém articulado ao parâmetro do ambiente democrático, as interações discursivas são potencializadas quando os alunos participantes se sentem à vontade para argumentar, questionar e se posicionarem. Para que isso aconteça, os meios de investigação serão uma ferramenta importantíssima.

Esses meios mediacionais possibilitam e auxiliam a contextualização e contribuem no processo de resolução de problemas, como um material mediacional da investigação estabelecida. O uso desses materiais mediacionais é extremamente importante, segundo Barcellos e Coelho (2019), principalmente, quando se trata de um tema com um grau alto de abstração.

Segundo Barcellos e Coelho (2019), os meios mediacionais podem ser estabelecidos na utilização de objetos e materiais, como livros didáticos, tabelas, reportagens, quadro negro, recursos multimídias, entre outros. Os autores também apontam o potencial, desde meios mediacionais, em estabelecer interação com o que está sendo investigado.

Ainda referente ao envolvimento intelectual, Solino e Sasseron (2018) apontam para a necessidade de os problemas em atividades investigativas serem construídos com intuito de promover um desequilíbrio intelectual nos alunos, ocasionando uma motivação em se envolverem, intelectualmente, na resolução do problema.

No parâmetro em que se analisa a interação social há uma concordância entre os professores, afirmando que as atividades visam a um ambiente de interação social, mas foi identificado que uma melhoria na contextualização seria necessária para que essa interação fosse potencializada. Isso porque, segundo Carvalho (2013), as interações sociais não se estabelecem apenas na comunicação entre aluno e professor, mas também, pelo ambiente em que essa comunicação ocorre, de modo a proporcionar uma interação com o problema, as informações e os valores culturais relevantes ao tema trabalhados em sala de aula.

No parâmetro em que se analisa a aplicação e avaliação de teorias científicas não houve discordâncias, em relação a essa característica fundamental

do processo de apropriação de teorias científicas, no processo de aprendizagem no ensino por investigação.

Segundo de Sá (2007), para que haja a apropriação de teorias científicas se faz necessário a criação de um ambiente no qual os alunos possam, por meio da resolução de problemas criados em uma atividade investigativa, aplicar e avaliar seus conhecimentos.

No parâmetro em que se analisa a sistematização, também, é de comum acordo que as atividades foram pensadas e construídas com o intuito de viabilizar a etapa de sistematização.

Para Carvalho (2013), a etapa de sistematização é o momento em que se estabelece um diálogo entre alunos/alunos e alunos/professor, a fim de expor o que foram realizados, durante o processo de resolução do problema e de estabelecer fechamentos e consensos típicos do processo de significação conceitual.

Segundo Campos de Souza e Souza (2017), a sistematização é um pilar de sustentação da atividade investigativa, onde os conhecimentos produzidos, durante o processo de resolução do problema são compartilhados e negociados.

Esse momento de sistematização precisa ocorrer em cada atividade da sequência, é nesta etapa que o professor tem a oportunidade de fechar alguns ciclos iniciados na apresentação do problema e no processo de resolução.

#### 5.1.5 AVALIAÇÃO

Nesta categoria, procurou-se analisar o processo de avaliação das atividades da SEI, em três parâmetros: os métodos de avaliação (E1), se há avaliação integradora (E2) e o retorno de avaliação (E3). Segundo Carvalho (2013), uma SEI é composta de um ciclo ou vários ciclos das etapas consideradas pilares da atividade investigativa. É preciso pensar também em processos de avaliação que podem ocorrer, no final de cada atividade ou ao final da SEI. Essa avaliação não poderá ser somente somativa, modelo muito utilizado no ensino diretivo/conteudista em que o professor está acostumado.



Ao se pensar e construir o instrumento de avaliação de uma SEI, o professor precisa assumir uma nova postura, em que a introdução de novas práticas de ensino em sala de aula reverbera, também, no processo de avaliação. Segundo Carvalho (2013), essa avaliação deve ser de caráter formativo, visando avaliar se, realmente, houve a aprendizagem dos alunos.

Segundo a análise realizada das respostas e comentários do formulário de análise, avaliação e validação de SEI, os professores concordam que a SEI leva em consideração os processos de avaliação, como mostra o gráfico abaixo.

Figura 17: Gráfico de análise das respostas da categoria da avaliação



Fonte: Própria

Essa avaliação positiva, também, é encontrada nos comentários, porém, alguns ajustes no detalhamento dessas avaliações seriam necessários. Como mostra os comentários das professoras Ana e Paula:

*Ana: Como dito no texto, a avaliação precisa ser adequada à perspectiva proposta nas atividades. Portanto, o envolvimento com a solução, as hipóteses,*

*a apropriação do discurso, as produções textuais e a socialização das ideias nas discussões são características do processo de aprendizagem. Repensar as formas de avaliar essas interações é parte fundamental da perspectiva. Pelo que compreendi da sua proposta, me parece que tudo isso está sendo levado em consideração, o que é muito bacana.*

*Paula: Acredito que por se tratar de uma proposta investigativa e que muitos professores não têm o conhecimento ou a prática nessa abordagem de ensino, a seção de "Sugestões para Avaliação" deveria ser mais detalhada e exemplificada nas sugestões em como avaliar cada tipologia de aprendizagem. Creio que fica mais claro para o leitor, o que pode propiciar um maior interesse pela aplicação do material.*

Para melhorar o processo de avaliação, criou-se, em cada atividade, um campo de sugestões de avaliações, que o professor poderá utilizar ou não para avaliar os alunos ao realizarem as atividades.

Durante o processo de análise, avaliação e validação da SEI, algumas ideias e sugestões foram levantadas pelos professores, com intuito de trazer melhorias para a sequência. Uma delas foi referente à primeira atividade: a do modelo planetário (ver no Apêndice). Na reunião, o professor João apresentou a seguinte sugestão:

*João: ...sobre essa primeira aula, eu achei que poderia ser um meio de levantar o conhecimento prévio dos alunos, e ela não, necessariamente, precisa ser assumida com uma atividade investigativa, ainda que você possa desenvolver várias práticas epistêmicas.... Eu achei muito legal essa ideia de os alunos construírem os modelos para representarem os conhecimentos iniciais deles...*

A partir desse comentário, no grupo, e o apontamento de Solino e Sasseron (2018), que ressaltam a importância de se considerar os conhecimentos prévios dos alunos para o processo de resolução de problemas, realizaram-se alterações pertinentes nessa atividade, no sentido de se constituir como possibilidade de levantamento de conhecimentos prévios, ao invés de se constituir como uma situação-problema que desencadearia o processo de investigação na sala de aula. Esses conhecimentos prévios ajudarão o professor no processo de mediação,

permitindo a ele conduzir os alunos na resolução do problema proposto, a partir das ideias que os alunos já trazem sobre o tema.

Outra ideia que surgiu foi referente à atividade expositiva da história da Gravidade, sobre a qual o professor João sugeriu:

*João: ...E um comentário sobre a aula da história da Gravidade, que você propõe uma aula expositiva da história da Gravidade. Eu pensei, por exemplo, essa é uma aula, como é da história, talvez, você não precise dar essa aula, você será o protagonista dessa aula em diálogo com os estudantes, de maneira expositiva. Poderia, aí estou viajando aqui, depois você vê se é compatível com seu contexto, com seus alunos e sua proposta. Por que não atribuir aos alunos a responsabilidade de fazerem essas pesquisas sobre a história da Gravidade?...*

Essa ideia foi estendida para a aula expositiva da história do buraco negro e construiu-se uma atividade histórica-investigativa, construindo uma linha do tempo. Procurou-se, com essa mudança, fazer com que os alunos sejam protagonistas dessa construção histórica sobre a gravidade, até chegar aos buracos negros.

Segundo Batista e Silva 2018, uma das formas de promover momentos de reflexão sobre a natureza da ciência em atividades investigativas é associá-las com uma abordagem histórica. Essa associação contribui para esclarecimento do processo e fatores da construção do conhecimento científico, fazendo com que os alunos entendam que a ciência é uma construção social e que não é uma obra acabada (BATISTA; SILVA, 2018).

A abordagem histórica-investigativa tem como objetivo o ensino de conceitos científicos, através da contextualização histórica da ciência que ressalta todo o processo construtivo explicitando as dificuldades e conquistas (BATISTA; SILVA, 2018).

Segundo os autores Batista e Silva (2018, p 101) existem alguns elementos que caracterizam essa abordagem que utiliza da narrativa histórica para a produção de conhecimento científico:

[...] A narrativa deve ter uma pausa que propicie a reflexão e o pensamento investigativo; Perspectivas históricas que mostram a incerteza da ciência, ou seja, que a ciência está em construção; Questões que problematizem a natureza da ciência e promovam a investigação da natureza da ciência; Finalização da investigação e narrativa histórica; Reflexão das lições acerca da natureza da ciência. Escrita criativa na qual os estudantes escrevem cartas, diários, diálogos.

Essa abordagem incentiva e motiva os alunos na busca ativa por conhecimento, contribuindo para o processo de enculturação científica e desmistificação do fazer ciência.

## **5.2 ANÁLISE DOS ALUNOS**

Outro Instrumento de validação de SEI foi desenvolvido (conforme descrito no capítulo de metodologia) e encaminhado, juntamente, com as atividades por e-mail no dia 10 de novembro de 2020, para vinte alunos da rede pública, que tiveram um tempo estimado de um mês para retornarem com suas respostas. Treze alunos responderam o formulário e, a partir destas respostas foram construídas as análises apresentadas nesta seção.

### 5.2.1 TEMA

O primeiro critério analisado pelos alunos foi o tema da SEI e tinha como objetivo avaliar se os temas trabalhados nas aulas são originais e interessantes.

Figura 18: Gráfico de análise das respostas da categoria do tema



Fonte: Própria

Como mostra o gráfico, os alunos participantes concordam ou concordam totalmente que os temas trabalhados nas atividades são originais e interessantes e esse resultado se confirma ao analisar os comentários dos alunos:

Comentários dos alunos:

*Ana: Acho que é um tema interessante e curioso.*

*Pedro: O tema em si é bem interessante e acaba despertando curiosidade em todos, até mesmo naqueles que não se identificam muito, pois podem acabar por aprender, através desse tema com o envolvimento certo a ser realizado.*

*João: Desperta bastante interesse. É muito bom conhecer mais e mais sobre esses assuntos. Muitas pessoas só ouvem falar o nome de algo, mas não sabe o que esse algo tem, o que ele faz, etc. Logo assim, na minha opinião desperta muito interesse!*

Segundo Solino e Sasseron (2018) a motivação é um dos critérios de construção do problema e que essa motivação pode ser criada por problemas que simule uma situação fictícia ou desafios que tenham o intuito de estimular a curiosidade e a imaginação dos alunos.

Trabalhar temas que despertem o interesse dos alunos pode se constituir como grande motivador e estímulo para a curiosidade. Como o aluno Pedro mencionou sobre a possibilidade de, até mesmo pessoas que não se identificam com a disciplina, poderem se interessar pelo tema que pode implicar, positivamente, no processo de aprendizagem.

Esse interesse pelo tema pode ser um aliado na construção do ambiente democrático (questão debatida anteriormente), pois, por meio da motivação da turma o professor pode estabelecer um ambiente de diálogo e participação ativa dos alunos, no processo de aprendizagem, com uma postura questionadora, fomentando a argumentação e contra argumentação, a fim de engajá-los em práticas típicas do processo de construção do conhecimento científico escolar.

### 5.2.2 CLAREZA E COMPREENSÃO

O critério B procurou analisar a clareza e a compreensão das atividades da sequência. As atividades precisam ter uma redação clara e direta, contendo todas as informações pertinentes para sua realização.

Ao analisar as respostas, observa-se que é de comum acordo, entre os alunos participantes, avaliarem se as atividades possuem redações claras e compreensivas, como mostra o gráfico.

Figura 19: Gráfico de análise das respostas da categoria da clareza e compreensão



Fonte: Própria

Para compreensão do gráfico, a Atividade 1 é a atividade investigativa do modelo planetário; Atividade 2 é a atividade investigativa das órbitas dos satélites; Atividade 3 é a atividade investigativa da velocidade de escape; Atividade 4 é a demonstração investigativa da cama elástica; Atividade 5 é a atividade investigativa sobre os buracos negros; Atividade 6 é a atividade investigativa do raio de Schwarzschild; Atividade 7 é a atividade investigativa sobre a "Espaguetificação da astronauta".

Esse resultado se confirma pelo comentário feito pelo aluno Pedro.

*Pedro: Sim. As explicações sempre são claras, dá para resolver os exercícios tranquilamente.*

*Ana: As atividades são excepcionais, portanto, nada a opinar.*

Com o comentário do aluno, entendemos que as informações necessárias estão nas atividades da sequência. É importante que ao se aplicar uma atividade investigativa, a situação-problema seja clara e que contenha todas as informações necessárias para não comprometer o processo de investigação.

### 5.2.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO

O critério C procurou evidenciar como os alunos compreendiam os procedimentos de avaliação em termos de sua coerência, com objetivos e conteúdos propostos em cada uma das atividades e informados no início de cada aula.

Na análise das respostas percebe-se que 100% concordam ou concordam, totalmente, que o processo de avaliação atende a essas características.

Figura 20: Gráfico de análise das respostas da categoria do método de avaliação



Fonte: Própria



Sabe-se que a avaliação faz parte do cotidiano da escola, gerando muita preocupação, por parte dos alunos. Informar o método de avaliação, no início da atividade, é conscientizar os alunos do processo avaliativo ao qual estarão inseridos, oportunizando-os a se prepararem para os mesmos. São observadas essa preocupação e a importância desta informação, quando se analisa o comentário da aluna Maria:

*Maria: Concordo totalmente. Sendo assim, os alunos se preparam com mais facilidade, já sabem como vai ser o método de avaliação, e se programam melhor.*

No comentário, a aluna concorda com a afirmativa de que é necessário que o método de avaliação seja informado no início da aula e expõe a preocupação de estar preparada para ser avaliada. Segundo Carvalho (2013), avaliação somativa possui essa característica, de atribuir valores às pessoas para classificá-las e torná-las habilitadas a avançar.

Uma mudança na forma de avaliação é o caminho para desmistificar a aprovação, baseada apenas em nota, evidenciando uma avaliação pautada e alienada a todo o processo de aprendizagem.

A sequência que se encontra no apêndice foi reformulada e ressignificada, a partir das contribuições dos professores e alunos participantes.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta sequência de ensino investigativo tem como finalidade o ensino da gravitação perpassando pelos modelos explicativo, construídos, durante a Física Clássica e a Física Moderna e Contemporânea, ancorada nos referenciais que defendem a importância da introdução da FMC no ensino básico e na mudança da didática no ensino de ciência. Toda a sequência foi desenvolvida para que o processo de ensino e a construção do conhecimento valorizem a centralidade no aluno, possibilitando uma liberdade intelectual, permitindo-os desenvolver habilidades importantes para sua formação como cidadão contemporâneo.

Com o surgimento da pandemia do Covid-19, a aplicação da SEI, que estava sendo desenvolvida, ficou comprometida. Acredita-se que este acontecimento possibilitou, para muitos, uma nova linha de aprendizado e mostrou que temos a condição de sempre nos adaptar e desenvolver em diversas áreas. Não foi diferente neste processo de pesquisa, em que houve a adaptação, introduzindo novos referenciais e autores, para, assim, subsidiar a coleta de dados e oferecer condições de construir uma sequência que possibilite o ensino da gravitação ao buraco negro, composta por atividades investigativas.

Ancorados, no referencial teórico, no processo da análise, na avaliação e na validação de SEI, as atividades foram adaptadas e modificadas, a fim de potencializar as características investigativas da sequência. Dito isso, a SEI constitui-se das seguintes atividades e estrutura:

<b>Sequência de ensino investigativo</b>			
1 <sup>a</sup> atividade	Levantamento de conhecimento prévio	Modelo planetário	2 aulas
2 <sup>a</sup> atividade	Atividade investigativa	A órbita dos satélites	1 aula
3 <sup>a</sup> atividade	Atividade investigativa	Velocidade de escape	1 aula
4 <sup>a</sup> atividade	Atividade Histórica-investigativa	Linha do tempo	3 aulas
5 <sup>a</sup> atividade	Demonstração experimental	Cama elástica	2 aulas
6 <sup>a</sup> atividade	Atividade investigativa	Buraco negro	1 aula

7 <sup>a</sup> atividade	Atividade investigativa	Raio de Schwarzschild	1 aula
8 <sup>a</sup> atividade	Atividade investigativa	Espaguetificação da astronauta	1 aula

O ensino por investigação tem como característica forte os processos mediacionais, tendo como agente mediador o professor e a interação estabelecida entre os participantes, durante o desenvolvimento das atividades, fazendo com que uma atividade seja considerada investigativa, somente após a análise dessa mediação e das interações em sala de aula.

Durante o processo, nossa sequência foi se potencializando, ancorada a outras experiências vivenciadas pelos professores participantes, que ao analisarem e avaliarem as atividades, contribuíram com sugestões de aprimoramento e mudanças baseadas na prática do desenvolvimento de atividades investigativas, em sala de aula. Essas experiências compartilhadas possibilitaram a reelaboração da sequência com uma maior potencialidade de estabelecer um processo de investigação nas aulas.

Assim, como uma atividade preparada para uma determinada turma, a mesma pode não ser aplicável para outra turma, sendo necessária a adaptação e reelaboração da atividade. Uma sequência de ensino, certamente, precisará se adaptar e passar por modificações diariamente. O processo de validação de uma SEI permite ao professor elaborador minimizar as variáveis, podendo, dessa forma, colocar seu objetivo educacional em risco, minimizando os fatores que contribuem para que o planejamento não aconteça da forma esperada.

A participação dos alunos foi muito importante, principalmente, para que se compreendesse a relevância do tema proposto. Trabalhar com um tema que desperte o interesse dos alunos é um grande aliado para o processo de motivação. Quando os estudantes estão motivados a aprender algo, em que tenham interesse, a tomada de decisão em participar do processo de aprendizagem acontece de forma mais fácil.

Sabendo que a motivação é importante, não somente no início do desenvolvimento da atividade, é necessário que as elaborações e as mediações

sejam mantidas motivadas, no desenrolar de toda atividade. A clareza e compreensão das atividades auxiliam nessa tarefa, visto que, se o aluno não compreende o que está sendo pedido, ele não as realizará, além de poder se desmotivar.

Esse processo de elaboração, validação e reelaboração da SEI, além de garantir oportunidades para um vasto conhecimento, na resignificação das aulas de Física e da postura profissional, aprimora o planejamento, através do conhecimento compartilhado, potencializando o material construindo, a fim de atender o que nele se objetiva.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, NATÁLIA. **Leis de Kepler – quais são? 1ª, 2ª e 3ª leis e exercícios resolvidos.** *Gestão Educacional*. Acesso em 28 de março de 2020.

AZEVEDO, M.C.P.S. **Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula.** In: *Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática*. Anna Maria Pessoa de Carvalho (Org). São Paulo. Thomson, 2006.

BARCELLOS, L. S.; COELHO, G. R.. **Uma Análise das Interações Discursivas em uma Sala de Aula Investigativa de Ciências nos anos iniciais do Ensino Fundamental sobre Medidas Protetivas contra a Exposição ao Sol.** *Investigações em Ensino de Ciências (Online)*, v. 24, p. 179-199, 2019.

BARCELLOS, L. S.; COELHO, G. R. . **ELABORAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA INVESTIGATIVA PARA ABORDAGEM DO TEMA INTERAÇÃO RADIAÇÃO-CORPO HUMANO NAS SÉRIES FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL.** In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2017, São Carlos. *Anais do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 2017.

BERTELLI, Miguel. **Leis de Kepler.** Quero Bolsa. Disponível em: <https://querobolsa.com.br/enem/fisica/leis-de-kepler>. Acesso em 28 de março de 2020.

BODEVAN, J.A.S. de. **O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS E O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS EM UMA SEQUÊNCIA**, Mestrado Profissional em Ensino de Física. Universidade Federal do Espírito Santo - Vitória, E.S., 2021. Disponível em: <https://ensinodefisica.ufes.br>. Acesso em 31 de março de 2020.

BORGES, A. Tarciso. **Novos rumos para o laboratório escolar de ciências**. v. 19, n. 3, 2002. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6607/6099>. Acesso em: 12 set. 2017.

BORGES, Nicolau. **Lei de Newton da Gravitação Universal. Os Fundamentos da Física**. Disponível em: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2012/11/> . Acesso em 29 de março de 2020.

BRAGA, A. S. KILLNER, G. I. ; ARAÚJO, F. G. . **AS AULAS DE FÍSICA: O USO DE SIMULADORES COMPUTACIONAIS COMO RECURSO DIDÁTICO ANTES OU DEPOIS?**. In: **XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 2017, São Carlos. Anais do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versao\\_final\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versao_final_site.pdf). Acesso em 31 de março de 2020

CAFÉ E CIÊNCIAS. **A relatividade de Einstein e a estrutura do espaço-tempo**. Disponível em: <https://www.cafeeciencia.com.br/categorias/astrofisica/a-relatividade-de-einstein-e-a-estrutura-do-espaco-tempo.html>. Acesso em 31 de março de 2020.

**Relatividade Geral**. Wikipedia, 2015. Disponível em [https://an.wikipedia.org/wiki/Relativitat\\_cheneral](https://an.wikipedia.org/wiki/Relativitat_cheneral). Acesso em 25, de agosto de 2021.

**Primeira foto de um buraco negro: um dia histórico para a ciência**. Galileu, 2019. Disponível em <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Espaco/noticia/2019/04/primeira-foto-de->

[um-buraco-negro-um-dia-historico-para-ciencia.html](#). Acesso em 25, de agosto de 2021.

CARVALHO, A. M. P. **O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas**. In: CARVALHO, A.M.P. Org. **Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 1-20.

COELHO, G. R. AMBRÓZIO, R.M. **O Ensino por investigação na formação inicial de professores de Física**: Uma experiência da Residência Pedagógica de uma Universidade Pública Federal. **CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE FÍSICA**, v. 36, p. 490-513, 2019.

CUNHA, M. V.. **John Dewey e o pensamento educacional brasileiro: a centralidade da noção de movimento**. *Revista Brasileira de Educação*, Rio de Janeiro, n.17, p. 86-99, 2001.

COUPER, H; HENBEST, N. **Buracos negros: Uma viagem ao centro de um buraco negro – um dos maiores do Universo**. Liege M. S. Marucci. São Paulo. Moderna, 1997.

DAMASIO, F. ; PACHECO, S. M. V. . **BURACOS nem tão NEGROS assim. A Física na Escola (Online)**, v. 10, p. 30/6-35, 2009.

DOMINGUINI, L. **Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM**. *Revista Brasileira de Ensino de Física (Impresso)*, v. 34, p. 1-7, 2012.

FILGUEIRA, S. S.; SOARES, M. H. F. B. **O Lúdico no Ensino de Física: Elaboração e Desenvolvimento de um Minicongresso com Temas de Física**

**Moderna no Ensino Médio.** EXPERIÊNCIAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS (UFRGS), v. 10, p. 66-93, 2015.

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira e. **Geocentrismo e Heliocentrismo.** Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/geocentrismo-heliocentrismo.htm>. Acesso em 28 de março de 2020.

FRANCO, LUIZ GUSTAVO; MUNFORD, DANUSA. **Aprendizagem de ciências: uma análise de interações discursivas e diferentes dimensões espaço-temporais no cotidiano da sala de aula.** REVISTA BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO, v. 25, p. 1/e 250015, 2020.

GOMES, JAIRO. **Gravitação Universal.** Algosobre. Disponível em: <https://www.algosobre.com.br/fisica/gravitacao-universal.html#menu2>. Acesso em 28 de março de 2020.

GUIMARÃES, Y. GIORDAN, MARCELO . **Elementos para Validação de Sequências Didáticas.** In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013, Águas de Lindóia. Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. São Paulo: ABRAPEC, 2013. v. 1. p. 1-8.

HORVATH, J. E. CUSTÓDIO, P. **Os buracos negros na ciência atual: um brevíssimo manual introdutório.** 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2013. v. 1. 120p.

HUGH, D. YOUNG, ROGER A. FREEDMAN - **Física II - Termodinâmica e Ondas.** 2 - Pearson Prentice Hall, 2016/1.



JERZEWSKI, V. B. . **PARTÍCULAS ELEMENTARES E INTERAÇÕES: UMA PROPOSTA DE MERGULHO NO ENSINO E APRENDIZAGEM ATRAVÉS DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA INTERATIVA.** Dissertação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande, R.S., 2015. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/8563>. Acesso em 29 de março de 2020.

JOÃO, H. A. **PROPOSTA DE UMA OFICINA INTEGRADORA ENTRE O USO DE TIC E DEMONSTRAÇÃO EXPERIMENTAL AOS PROFESSORES DE ENSINO MÉDIO DE FÍSICA.** Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física. Universidade Federal de São Carlos, SP, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br>. Acesso em 09 de abril de 2019.

KOPPENS, YLANITE. **Newton Bala De Canhão**, Gravitação, órbita PNG, Disponível em: <https://www.gratispng.com/png-3ydv3j/>. Acesso em 29 de março de 2020.

LEITE SEFERIN, Á. M. **Cosmologia e atividades investigativas no ensino médio: Um estudo sobre os efeitos dessa abordagem sobre a aprendizagem dos estudantes.** Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Educação em Ensino de Física. Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, 2016.

MATSAS, G. E. A.; VANZELLA, D. A. T. **Buracos Negros.** Rio de Janeiro: Vieira e Lent, 2008. v. 1. P. 118.

MAXIMIANO, J. R. ; CARDOSO, L. ; DOMINGUINI, L. . **Física Moderna nos livros didáticos: um contraponto entre o PNLEM 2009 e o PNL D 2012.** Vida (Santa Maria. Impresso), v. 33, p. 97-115, 2013.

MOREIRA, M. A. **Grandes Desafios para o Ensino da Física na Educação Contemporânea**. Palestra proferida na XI Conferência Interamericana sobre Enseñanza de la Física, Guayaquil, Equador, 2013 Disponível em: [http://www.if.ufrj.br/~pef/aulas\\_seminarios/seminarios/2014\\_Moreira\\_DesafiosEnsinoFisica.pdf](http://www.if.ufrj.br/~pef/aulas_seminarios/seminarios/2014_Moreira_DesafiosEnsinoFisica.pdf). Acesso em: 09 de novembro de 2015.

OLIVEIRA, K. S. **O ensino por investigação: construindo possibilidades na formação continuada do professor de ciências a partir da ação-reflexão**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2015.

OSTERMANN, Fernanda ; MOREIRA, M. A. . **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. Investigações em Ensino de Ciências (Online), Porto Alegre, v. 5, n.1, p. 23-48, 2000.

PAULO NETTO, J. G.; VIEIRA, A. N. O.; SIQUEIRA, C. A.. **Ensino de Física moderna e contemporânea no Ensino Médio: o que pensam os envolvidos?** REVISTA SCIENTIA TEC, v. 6, p. 65-89, 2019.

ROLDI, K. **O POTENCIAL PEDAGÓGICO DO ESPAÇO DE EDUCAÇÃO NÃO FORMAL PARQUE DA MANTEIGUEIRA (VILA VELHA-ES): UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM ABORDAGEM SOCIOCULTURAL**. Dissertação de Mestrado, Ciências Exatas e da Terra, IFES, Vila Velha- ES, 2015. Disponível em : <https://repositorio.ifes.edu.br>. Acesso em 31 de março de 2019.

SÁ, ELIANE FERREIRA DE.; PAULA, H. F. ; LIMA, M. E. C. C. ; AGUIAR JÚNIOR, ORLANDO GOMES DE . **As características das atividades investigativas segundo tutores e coordenadores de um curso de especialização em ensino de ciências**. In: VI ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em

Ciências, 2007, Florianópolis. Atas do VI ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007.

SILVA JUNIOR, J. S. **Terceira Lei de Kepler. Educação.** Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/terceira-lei-kepler.htm>. Acesso em 28 de março de 2020.

SILVA JÚNIOR, J.M.; COELHO, G. R.. **O ensino por investigação como abordagem para o estudo do efeito fotoelétrico com estudantes do ensino médio de um Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia.** CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE FÍSICA, v. 37, p. 51-78, 2020.

SILVA, M.; SANTOS, E. **Avaliação da aprendizagem em educação online: fundamentos, interfaces e dispositivos, relatos de experiências.** São Paulo: Edições Loyola, 2006. 533 p.

SILVA, V. M. **O ensino por investigação e o seu impacto na aprendizagem de alunos do ensino médio de uma escola pública brasileira.** Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

SOLINO, Ana Paula; SASSERON, L. H. . **Investigando a significação de problemas em Sequências de Ensino Investigativa.** INVESTIGAÇÕES EM ENSINO DE CIÊNCIAS (ONLINE), v. 23, p. 104-129, 2018.

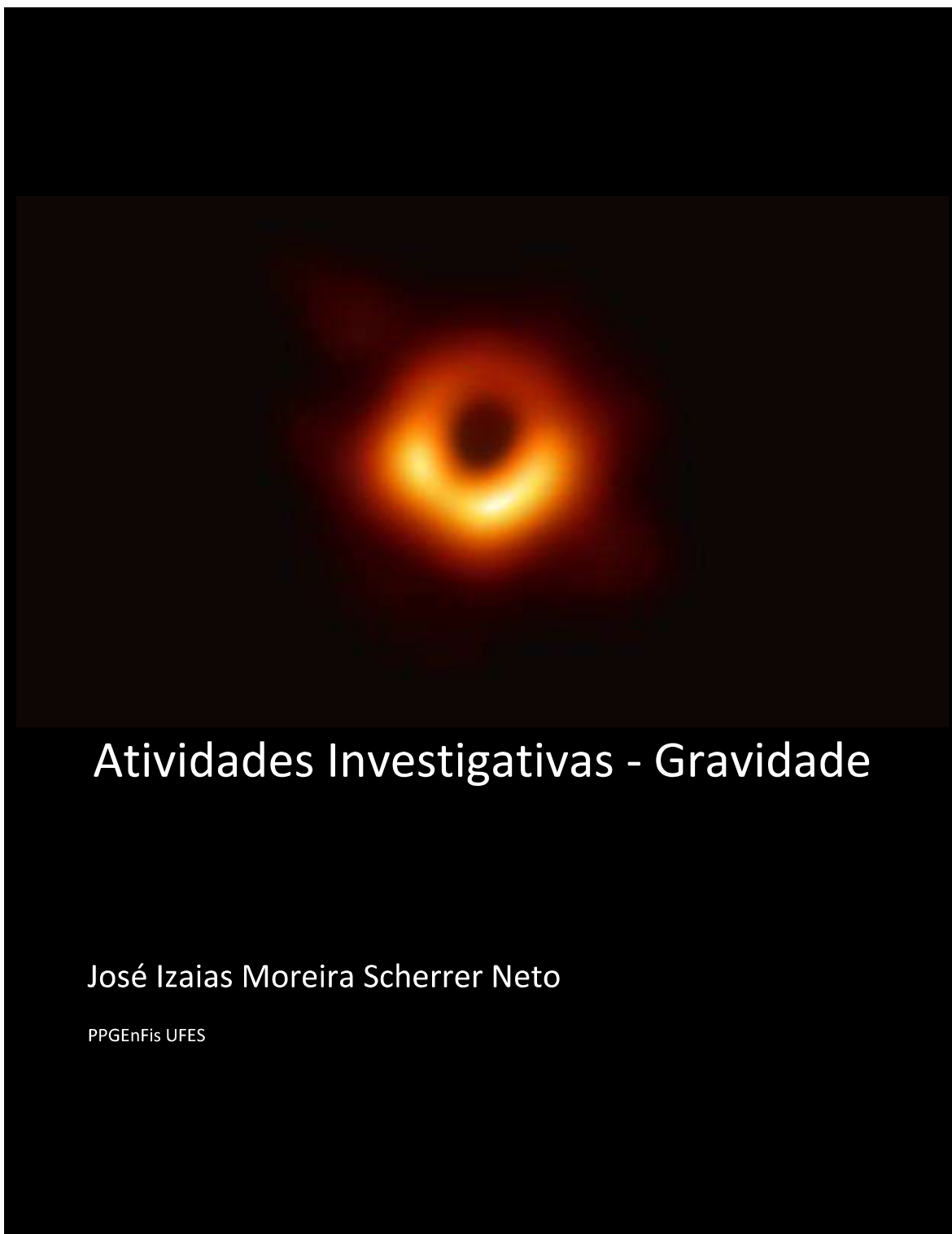
TERRAZZAN, E. A.. **A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de segundo grau.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, SC, Brasil, v. 9, n.3, p. 209-214, 1992.

TIAGO. **Campo Gravitacional**. EXATAS JOÃO MORETTI “Prof. TIAGO”. Disponível em: <http://exatasjm.blogspot.com/>. Acesso em 28 de março de 2020.

VARELLA, I. G. **Periodicidade nas Oposições de Marte**. Astronomia e Astrofísica. Disponível em: [http://www.uranometrianova.pro.br/astronomia/AA006/opos\\_marte.htm](http://www.uranometrianova.pro.br/astronomia/AA006/opos_marte.htm). Acesso em 28 de março de 2020.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. **Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens**, Revista Ensaio, Belo Horizonte, v.13, n.03, p.67-80, set-dez, 2011.

## APÊNDICE A



## **Apresentação**

Prezado professor (a),

Esse material é o resultado de um trabalho de pesquisa de mestrado, que tem como objetivo intentar novas práticas pedagógicas, nas aulas de Física, trabalhando em articulação com os ramos da Física Clássica e Contemporânea. As atividades presentes neste produto permitem trabalhar, sistematicamente, todo o conceito de Gravidade, anteriormente adquirido, incluindo as recentes descobertas. Vale ressaltar que existe uma diversidade enorme no sistema educacional, em que há uma pluralidade cultural, econômica, social e intelectual presente nas escolas, sendo necessários um aperfeiçoamento e uma adaptação constante para que as demandas, em sala de aula, sejam atendidas. Essa é uma experiência vivenciada que influenciará várias outras, parecidas ou não, mas que poderá ser adaptada, conforme o contexto escolar.

Boa leitura e um excelente trabalho!

**SUMÁRIO**

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
<b>2 ABORDAGEM INVESTIGATIVA.....</b>	<b>8</b>
<b>3 GRAVITAÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>4 MODELO GEOCÊNTRICO.....</b>	<b>10</b>
<b>5 MODELO HELIOCÊNTRICO.....</b>	<b>11</b>
<b>6 LEIS DE KEPLER E O MOVIMENTO DOS PLANETAS.....</b>	<b>11</b>
6.1 Primeira Lei de Kepler.....	12
6.2 Segunda Lei de Kepler.....	14
6.3 Terceira Lei de Kepler.....	15
<b>7 LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL.....</b>	<b>16</b>
<b>8 DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE GRAVITACIONAL.....</b>	<b>18</b>
<b>9 PESO.....</b>	<b>18</b>
<b>10 MOVIMENTO DOS SATÉLITES.....</b>	<b>20</b>
<b>11 VELOCIDADE DE ESCAPE .....</b>	<b>23</b>
<b>12 DA RELATIVIDADE GERAL AO BURACO NEGRO.....</b>	<b>24</b>
<b>13 ESPAGUETIFICAÇÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>14 RAIOS DE SCHWARZCHILD.....</b>	<b>31</b>
<b>15 VELOCIDADE DE ESCAPE E A DENSIDADE.....</b>	<b>32</b>
<b>16 DESCOBRINDO UM BURACO NEGRO.....</b>	<b>32</b>
<b>17. ATIVIDADES PARA O ENSINO DA GRAVITAÇÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Essa sequência didática, com enfoque em atividades investigativas, aborda o tema Gravitação, desde os primórdios da construção desse conceito, até as descobertas recentes feitas pela ciência. Tem como intuito trabalhar a Física Clássica e Contemporânea de forma interligada, mostrando o conhecimento dessa área sendo gradativamente adquirido e aperfeiçoado com o passar do tempo, tendo a sua importância e efeito em cada período. As atividades foram construídas para a primeira série do ensino médio, a fim de trabalhar de forma diferenciada e com objetivo de fazer com que os alunos se envolvam e sejam protagonistas em sala de aula.

O entusiasmo dos alunos, assim como uma liberdade intelectual que facilite a aprendizagem, só é possível, utilizando-se ferramentas educacionais que possibilitem uma mudança da didática em sala de aula. Esta sequência terá dez aulas e em cada aula serão abordados tópicos diferentes da Gravitação, exceto nas duas primeiras aulas, desenvolvidas para tratar do mesmo conteúdo, sendo a segunda aula continuação da primeira. As atividades seguirão uma ordem cronológica, a fim de construir esses conceitos, até se chegar nos buracos negros.

<b>Sequência de ensino investigativo</b>			
1ª atividade	Levantamento de conhecimento prévio	Modelo planetário	2 aulas
2ª atividade	Atividade investigativa	A órbita dos satélites	1 aula
3ª atividade	Atividade investigativa	Velocidade de escape	1 aula
4ª atividade	Atividade Histórica-investigativa	Linha do tempo	3 aulas
5ª atividade	Demonstração experimental	Cama elástica	2 aulas
6ª atividade	Atividade investigativa	Buraco negro	1 aula
7ª atividade	Atividade investigativa	Raio de Schwarzschild	1 aula
8ª atividade	Atividade investigativa	Espaguetificação da astronauta"	1 aula



Mesmo que os alunos sejam os protagonistas da construção do conhecimento, o professor tem um papel extremamente importante e indispensável em todo o processo, tanto na preparação das aulas, como no domínio do conteúdo a ser trabalhado em sala, já que toda a mediação será feita por ele, promovendo debates, encorajando a participação e o posicionamento dos alunos, criando um ambiente de discussão e de novas ideias e mantendo uma postura questionadora, a fim de criar um ambiente, potencialmente, investigativo. Para isso, a preparação e o planejamento são inevitáveis, para que se alcance o objetivo de aprendizagem em sala de aula. Além das atividades com enfoque na abordagem investigativa, o professor também terá um capítulo de todo o conteúdo a ser desenvolvido nessa sequência didática, que auxiliará na aplicação em sala de aula.

## 2 ABORDAGEM INVESTIGATIVA

Para compor essa sequência didática, atividades que permitam aos alunos ter maior liberdade intelectual e sejam estimulados a buscar o conhecimento serão utilizadas, tendo uma atitude mais questionadora. As atividades foram desenvolvidas para que os alunos formulem questões, levantem hipóteses, analisem evidências e compartilhem os resultados. É dentro dessa perspectiva que o uso da abordagem investigativa será apontado, que segundo SÁ (2007), é uma excelente estratégia para promover essas atitudes nos estudantes.

Diariamente, nas aulas de Física, os alunos são conduzidos a gravar conteúdos e respostas corretas, seguindo o raciocínio do professor e, apenas, preocupando-se em entender o que está sendo exposto por ele. Com esse ensino, centralizado no professor, os alunos deixam de aperfeiçoar e estimular a sua capacidade de resolver problemas, tornando a aprendizagem frágil e inconsistente. Segundo CARVALHO (2013), propor problemas a serem resolvidos pelos alunos, proporciona liberdade de raciocínio e de construção de conhecimento, fazendo com que o ensino não seja mais centralizado no conteúdo exposto por somente uma pessoa e sim, em uma construção coletiva e democrática, tendo os discentes um papel muito maior do que apenas receptores de conteúdo.

O problema deve despertar o interesse e a vontade para que os estudantes procurem respostas e, com esse sentimento, os alunos são inseridos no processo de investigação, sem que seja necessário o professor apontar, passo a passo, para a resolução e sim seja apenas um mediador para que, individualmente ou coletivamente, resolvam o problema proposto. Mesmo sendo uma abordagem em que a centralidade está no aluno, o papel do professor é fundamental para a criação de um ambiente investigativo, em sala de aula. O professor é o agente que promove oportunidades para que os alunos se relacionem com os novos conhecimentos, sendo responsável por fomentar o debate e estimular a participação. Sabendo que questões divergentes e posicionamentos diferentes aparecerão, é importante que o professor encoraje os alunos a se expressar e expor suas opiniões, a fim de combater a inibição e a apatia do seu alunado.

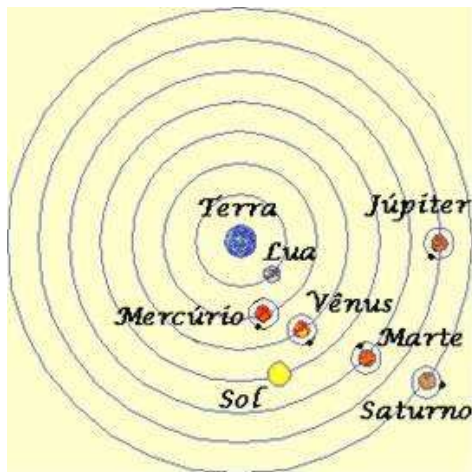
### 3 GRAVITAÇÃO

A gravidade é uma das quatro formas de interação presentes na natureza, sendo as outras, eletromagnética, interação forte e interação fraca. Essa forma de interação foi a primeira a ser estudada e observada, devido à necessidade de entender e explicar questões surgidas, ao se olhar para o céu e, até mesmo, ao observar um objeto cair. Porém, antes das definições sobre a gravidade, serão expostos sobre os modelos planetários, para os quais grandes esforços dos estudiosos, físicos e filósofos da época foram demandados, com intuito de explicar o movimento celeste e o lugar do homem no universo. O primeiro a criar um modelo capaz de trazer alguma explicação foi o matemático e astrônomo Claudius Ptolomeu, que modulou a teoria que conhecemos como Geocentrismo.

## 4 MODELO GEOCÊNTRICO

Apresentado por volta do ano 150, esse modelo é baseado na hipótese de que a Terra estaria fixa no centro do Universo e o Sol com os demais planetas giravam em torno dela. Mantendo uma órbita circular, a Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno giravam nessa mesma ordem. Mesmo sendo uma teoria que deixou várias questões sem respostas, era um modelo simples e bastante convincente, que conseguia prever a localização dos planetas, sustentada pelos dogmas religiosos da época.

FIGURA 1: MODELO GEOCÊNTRICO



*No modelo previsto por Ptolomeu, os planetas giram em um grande círculo chamado **deferente**, enquanto giram em um pequeno círculo denominado **epiciclo**...*

FONTE: FRANCISCO, WAGNER DE CERQUERIA, 2020.

Por longos 1300 anos, essa teoria foi aceita, mas começou a perder sua credibilidade, no surgimento de equipamentos mais precisos e o aprimoramento das observações. O movimento planetário foi um dos pontos importantes para perceberem que a teoria precisava de modificações. Por volta do século XVI, Nicolau Copérnico reformulou a antiga teoria, colocando o Sol no centro e os demais planetas em órbitas circulares, tendo extrema oposição da Igreja Católica Apostólica Romana, na época, que conduzia seus estudos com base no Geocentrismo. Mesmo estando em meio aos conflitos, o modelo Heliocêntrico foi ganhando espaço, sendo aceito, até os dias de hoje, no meio científico.

## 5 MODELO HELIOCÊNTRICO

Tendo o Sol no centro e os demais planetas orbitando-o, por ordem de distância, tem-se: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno, nessa mesma ordem em órbitas circulares, Copérnico conseguiu explicar, de forma simples, o movimento dos planetas. Definindo que planetas com distâncias menores do Sol, sua velocidade orbital seria maior, em relação a planetas que estejam mais afastados, explicando assim, sem a necessidade do epiciclo, o movimento retrógrado observado.

FIGURA 2: MODELO HELIOCÊNTRICO



*Invertendo a Terra e o Sol de posição, quebra-se um paradigma de que a Terra estaria em um lugar privilegiado no centro do Universo...*

FONTE: FRANCISCO, WAGNER DE CERQUERIA, 2020.

## 6 LEIS DE KEPLER E O MOVIMENTO DOS PLANETAS

Johannes Kepler nasceu no ano de 1571, na cidade da Alemanha Weil der Stad, tendo uma vida bastante conturbada, formou-se pela Universidade Tübingen, e foi professor de matemática na Universidade de Graz, na Áustria. Por apoiar o Heliocentrismo foi pressionado a deixar a cidade e se mudou para Praga, tornou -se auxiliar do astrônomo Tycho Brahe que, por sua vez, tinha condições financeiras e políticas para se dedicar à astronomia. Após a morte do astrônomo, Kepler herdou todo o seu enorme acervo de observação, construído devido ao apoio financeiro do governo dinamarquês, que possibilitou a

construção de um centro de pesquisa, com instrumentos de alta precisão. Foi apoiado nas observações de Tycho Brahe, que Johannes Kepler formulou as suas três leis que demonstram o movimento planetário.

### 6.1 Primeira Lei de Kepler

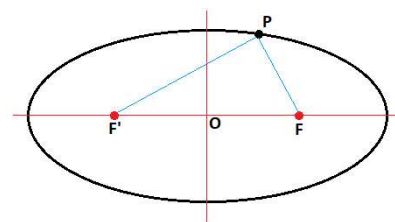
Também conhecida como a Lei das Órbitas, essa é a primeira das três leis que Kepler formulou com um método de tentativa e erro e foi publicada em 1609 no livro *Astronomia Nova*.

*Os planetas movimentam, descrevendo uma órbita elíptica em torno do Sol, estando ele em um dos focos da elipse.*

Com essa lei, Kepler contradiz a definição de Copérnico, em relação às órbitas dos planetas que, segundo ele, estariam em uma órbita circular. Com essa nova definição o movimento realizado pelos planetas deixou de ser circular e uniforme.

O que é uma elipse?

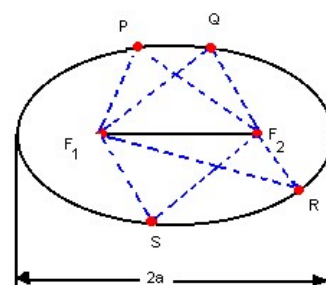
Figura 3: Elipse



Fonte: Internet

A elipse, geometricamente, é uma curva, que possui um eixo maior e um eixo menor. No eixo maior, definem-se dois pontos, denominado foco  $F_1$  e  $F_2$ , em que a soma da distância desses dois focos, para qualquer ponto da elipse, é constante, não varia.

Figura 4: Focos da elipse

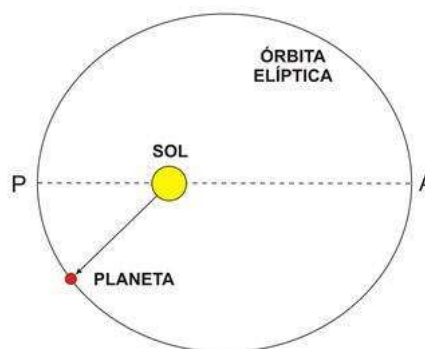


Fonte: *Só Matemática*, 2020.

A excentricidade de cada elipse varia, de acordo com a distância de seus focos. Para uma excentricidade maior, seus focos devem estar mais afastados. Utilizando uma linguagem popular, ela estará mais achatada, já para uma excentricidade menor, essa distância diminui fazendo com que ela se aproxime de uma circunferência.

FIGURA 5: EXCENTRICIDADE DA ÓRBITA

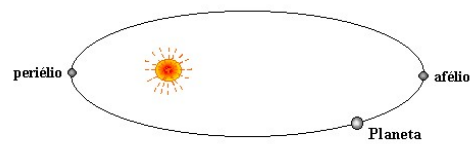
Tendo suas excentricidades próximas de zero, variando de 0,0068 para Vênus e 0,2056 para Mercúrio, as órbitas são bem próximas de serem circulares.



Fonte: VARELLA, I. G, 2006

Em suas órbitas, os planetas, quando localizados na região mais próxima do Sol, estão no periélio (ponto de menor distância entre o planeta e o Sol), e quando se localizam na região mais afastado do Sol, estão no afélio (ponto de maior distância entre o planeta e o Sol).

Figura 6: Periélio e afélio



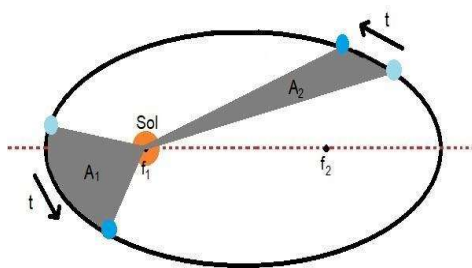
FONTE: GOMES. JAIRO, 2006.

## 6.2 Segunda Lei de Kepler

Essa é a Segunda Lei que demonstra o movimento planetário e, também, pode ser chamada de Lei das Áreas. Utilizando dados precisos do planeta Marte, Kepler observou que, quando o planeta estava mais próximo do Sol, movia-se com uma velocidade maior do que aquela que ele possuía, quando orbitando mais afastado.

*Ligando uma linha no Sol aos planetas, essa varrerá áreas iguais em tempos iguais.*

FIGURA 7: LEI DAS ÁREAS



Fonte: Bertelli, Miguel. 2019.

$$\frac{A_1}{t} = \frac{A_2}{t};$$

A área varrida é diretamente proporcional ao intervalo de tempo

A razão entre a área e o intervalo de tempo é um valor constante para cada planeta, denominado velocidade areolar, porém a velocidade de



translação, chamada de velocidade escalar orbital dos planetas não é constante. Se o planeta estiver próximo ao periélio, terá uma velocidade maior que se próximo ao afélio.

FIGURA 8: MOVIMENTO ACELERADO E RETARDADO



Fonte: ALVES, NATÁLIA. Acesso em 2020.

### 6.3 Terceira Lei de Kepler

Também conhecida como a Lei dos Períodos, é publicada por Kepler, em 1618, no livro V da Harmonia dos Mundos, com intuito de demonstrar a harmonia de todo o cosmo. Tendo os dados precisos dos períodos e do raio médio de cada planeta, a Terceira Lei de Kepler define que:

*O quadrado do período orbital é diretamente proporcional ao cubo do raio médio da órbita do planeta, sendo a razão entre eles igual para todos.*

Sendo,

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} = \frac{T_3^2}{R_3^3} = \dots = K;$$

A constante de Proporcionalidade K não depende das características específicas de cada planeta, considerando-se, somente, a massa do Sol, podendo enunciar também da seguinte forma:

$$T^2 = K \cdot R^3.$$

O período de translação de um planeta, em torno do Sol, é diretamente proporcional ao raio de sua órbita, indicando que quanto mais afastado o planeta esteja do Sol, maior será o tempo para completar o seu movimento de translação.

TABELA 1: CONSTANTE DE PROPORCIONALIDADE (K)

PLANETA	RAIO MÉDIO DA ÓRBITA (UA <sup>*</sup> )	PERÍODO EM ANOS TERRESTRES	T <sup>2</sup> /R <sup>3</sup>
MERCÚRIO	0,387	0,241	1,002
VÊNUS	0,723	0,615	1,001
TERRA	1,000	1,000	1,000
MARTE	1,524	1,881	1,000
JÚPITER	5,203	11,860	0,999
SATURNO	9,539	29,460	1,000
URANO	19,190	84,010	0,999
NETUNO	30,060	164,800	1,000

Fonte: SILVA JUNIOR, J. S. 2020.

## 7 LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

A primeira tentativa de que se tem registro de explicar o movimento dos corpos foi do filósofo grego Aristóteles, que defendia a tendência natural dos objetos de ocuparem o seu lugar no Universo, quanto mais pesado fosse o objeto, maior seria sua tendência de ocupar o seu lugar no centro do Universo (MATSAS e VANZELLA, 2008).

Em 1590, Galileu Galilei lança seu livro *De Motu*, mencionando a respeito da queda de corpos com pesos diferentes. Ele deduz que, em uma situação ideal, corpos de pesos diferentes fariam o percurso com tempos iguais, contrapondo a ideia de Aristóteles. Introduzindo, também, nessa mesma obra, o conceito de inércia, deduzindo que a tendência dos corpos é permanecerem em repouso ou em movimento uniforme, ao menos que algum agente externo interceda.

Embora a ciência tenha dado passos importantes, foi o matemático inglês Isaac Newton, que fazendo uso dos resultados de Galileu e Kepler, formulou a primeira teoria gravitacional, conhecida como Gravitação Universal. Estipulou que a Gravidade era uma força entre corpos que atuava à distância, sendo a

primeira lei que conseguia explicar, tanto um objeto caindo, como a órbita da Lua. Newton definiu que:

Todos os corpos, existentes no Universo, que possuem massa, atraem-se com uma força diretamente proporcional às suas respectivas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância.

Sendo sua formulação matemática:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} .$$

F = Módulo da força gravitacional;

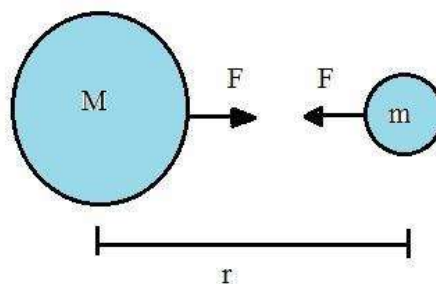
G = Constante gravitacional;

$m_1, m_2$  = Massas dos corpos;

d = Distância entre os corpos.

A força gravitacional atua como uma linha que une os corpos, formando um par de forças de ação e reação, possuindo módulos iguais, mesmo quando as massas dos corpos são diferentes.

FIGURA 9: FORÇA GRAVITACIONAL



Fonte: Tiago, 2015.

O módulo da força gravitacional que uma pessoa exerce sobre a Terra tem o mesmo valor da força exercida pela Terra sobre a pessoa.

*Isso só é possível, porque assume-se que toda a massa está concentrada em seu centro.*

## 8 DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE GRAVITACIONAL

Usando um dispositivo, denominado balança de torção, o cientista inglês Henry Cavendish, em 1798, obteve, pela primeira vez, com bastante precisão, o valor da constante gravitacional. Não dependendo da natureza dos corpos, do meio onde estão e nem da distância entre eles. Para se chegar ao valor dessa constante, é necessário medir a força gravitacional entre dois corpos de massas conhecidas, a uma determinada distância. Devido à força gravitacional entre dois corpos, produzida em laboratório, ser extremamente pequena, faz-se necessário o uso de um instrumento específico.

Usualmente, é adotado o valor para essa constante de:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2} .$$

## 9 PESO

Define-se peso como a força de atração gravitacional que a Terra, ou qualquer outro corpo celeste, exerce sobre um determinado objeto, considerando que esteja na superfície. Em outras situações, em que o objeto não esteja, especificamente, na superfície, define-se que o peso é a força de atração gravitacional resultante, exercida por todos os corpos do Universo. Se a Terra for considerada como um corpo, totalmente esférico, um objeto de massa  $m$  terá seu peso  $p$  calculado:

Onde,

$$p = F_g = \frac{G \cdot m_t \cdot m}{R_t^2};$$

$p$  = Peso;

$F_g$  = Força Gravitacional;

$G$  = Constante Gravitacional;

$m_t$  = Massa da Terra;

$m$  = Massa do corpo;

$R_t$  = Raio da Terra.

Sabendo para um objeto em queda livre, o peso é uma força que produz uma aceleração  $g$ , chamada de aceleração gravitacional e apoiada na segunda lei de Newton, pode-se escrever:  $p = m \cdot g$ .

Igualando, 
$$m \cdot g = \frac{G \cdot m_t \cdot m}{R_t^2};$$

Obtém-se:

$$g = \frac{G \cdot m_t}{R_t^2}.$$

A aceleração gravitacional  $g$  independe da massa  $m$  do objeto.

Quando o peso de um objeto, em um ponto acima da superfície da Terra, é considerado, o:

$$p = F_g = \frac{G \cdot m_t \cdot m}{r^2}.$$

Sendo  $r$ , uma altura  $r - R_t$  acima da superfície, observa-se que o peso varia com o inverso do quadrado da distância ao centro da Terra.

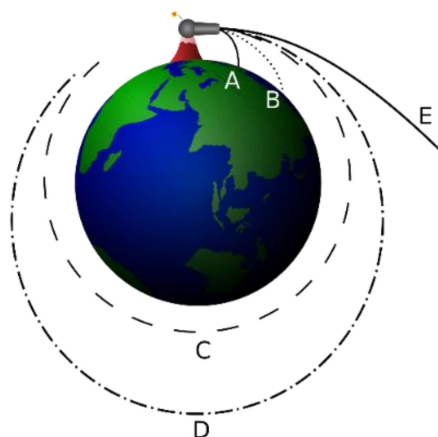
Uma pessoa pesa menos estando em um avião a uma certa distância do centro da Terra, do que se estivesse na superfície.

## 10 MOVIMENTO DOS SATÉLITES

Os satélites fazem parte do nosso cotidiano, embora não os vejamos, são um exemplo da tecnologia presente em nosso mundo. Alguns são usados para o sistema de GPS, para fins meteorológicos, comunicação, pesquisas e, também, existem aqueles que são considerados como lixo espacial, por estarem desativados. Existem mais de 12 mil objetos orbitando a Terra, no entanto, quais são os princípios e aspectos que fazem com que esses objetos permaneçam em órbita?

O lançamento de projéteis é o assunto que pode trazer a compreensão de como é possível colocar um satélite em órbita e o mesmo permanecer orbitando a Terra.

FIGURA 10: NEWTON BALA DE CANHÃO



Fonte: Koppens, 2019.

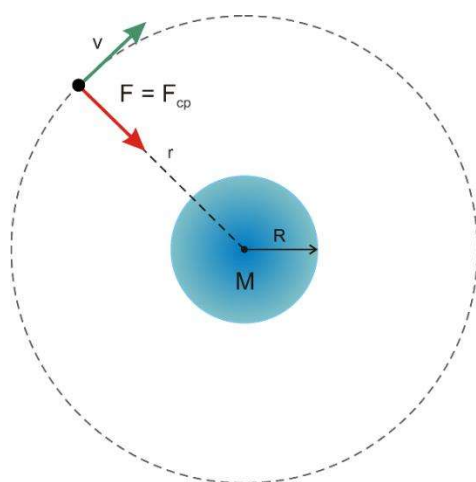
Analisemos a seguinte situação: imagine um canhão, no topo de uma montanha muito alta, na Terra, onde o mesmo, quando acionado dispara um projétil com uma determinada velocidade. Esse projétil descreve uma trajetória parabólica e logo cairá perto da base da montanha, como ilustrado na letra A.

Aumentando a sua velocidade observa-se que ele cairá cada vez mais afastado, representado pela letra B. Considerando-se o formato esférico da Terra, a partir do momento em que a velocidade aumenta e à medida que o

projétil vai caindo, a Terra se encurva em seu plano inferior, até chegar em uma velocidade, suficientemente alta, a ponto do projétil conseguir dar a volta, sem retornar ao solo, representado pelas letras C e D. As trajetórias A, B, C e D são consideradas órbitas fechadas e a letra E, órbita aberta, que cada vez mais se afasta da Terra.

Muitos dos nossos satélites descrevem órbitas quase circulares, parecidas com as realizadas pelos planetas do nosso sistema solar. Em uma órbita circular, a única força atuante será a força gravitacional, que é a resultante centrípeta, apontada para o centro da órbita, caracterizando o movimento dos satélites como circular uniforme, mantendo a velocidade constante.

FIGURA 11: FORÇA CENTRÍPETA



*A força centrípeta é perpendicular à velocidade, produzindo uma aceleração centrípeta, suficiente para manter o satélite em órbita.*

Fonte: Borges, Nicolau. 2012.

No movimento de queda, realizado pelo satélite, a sua velocidade, que é tangencial à órbita circular, é necessária para manter a distância do centro da Terra e não cair. Essa velocidade, que permanece constante, pode ser obtida, levando-se em consideração as características do movimento circular e a lei da gravitação universal. Sendo o raio da trajetória, medido desde o centro da Terra e a aceleração centrípeta tendo o módulo igual a:  $a = \frac{v^2}{r}$ , pode-se calcular a velocidade responsável pelo movimento, usando-se a lei da gravitação e a Segunda Lei de Newton. Como o intuito é conseguir chegar na velocidade, é só igualar:

$$m \cdot a = G \cdot \frac{m_t \cdot m}{r^2}; \quad \longrightarrow \quad m \cdot \frac{v^2}{r} = G \cdot \frac{m_t \cdot m}{r^2};$$

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot m_t}{r}}$$

$v$  = Velocidade do satélite em órbita;  
 $G$  = Constante gravitacional;  
 $m_t$  = Massa da Terra;  
 $r$  = Raio da órbita.

A velocidade não depende da massa do satélite, apenas da massa da Terra e do raio da órbita. Não é possível escolher a velocidade, sem se atentar para o raio, tendo eles uma relação unívoca (YOUNG e FREENDMAN, 2015).

O período  $T$  é o tempo gasto para se dar uma volta completa, em torno da Terra, podendo relacioná-lo com o raio da órbita. Sabendo que a velocidade pode ser deduzida como:

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}; \quad \longrightarrow \quad T = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{v};$$

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot r^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{G \cdot m_t}}$$

$T$  = Período de revolução;  
 $G$  = Constante gravitacional;  
 $m_t$  = Massa da Terra;  
 $r$  = Raio da órbita.

Analisando essas duas equações, pode-se observar que, em órbitas maiores, a velocidade é menor e o período maior.



## 11 VELOCIDADE DE ESCAPE

Quando qualquer objeto é jogado para o alto, logo, ele retorna para a mão, porém à medida que há maior e mais velocidade, observa-se que ele atinge alturas maiores. Será que é possível ser lançado a uma velocidade absurdamente alta, a ponto de o objeto não retornar e ir para o Universo?

Quando se lança um foguete da superfície terrestre, é necessário trabalhar com variáveis que permitam os objetos se livrarem da atração gravitacional. O que possibilita esse grande feito é a denominada velocidade de escape, podendo-se chegar em seu módulo pela conservação de energia mecânica. Para um corpo que se movimenta sob ação de forças conservativas, a consequência é a invariância da energia mecânica, assim:

$$E_{ci} + E_{pi} = E_{cf} + E_{pf};$$

Sendo a energia mecânica inicial, na superfície da Terra e a final no infinito, considera-se que esse objeto irá para o Universo e não retornará.

$$E_{ci} + E_{pi} = E_{\infty} + E_{\infty};$$

Logo, esse corpo estará em estado de repouso a uma distância infinita, conseqüentemente, a sua energia cinética e potencial gravitacional será zero.

$$E_{ci} + E_{pi} = \cancel{E_{\infty}} + \cancel{E_{\infty}}$$

Então,

$$E_{ci} + E_{pi} = 0.$$

Conhecendo o módulo da energia cinética e da energia potencial gravitacional a uma distância  $r$  do centro da Terra, que nesse caso é o raio, tem-se:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} + \left( - \frac{G \cdot m_t \cdot m}{r} \right) = 0;$$

$$v_{escape} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot m_t}{r}}.$$

## 12 DA RELATIVIDADE GERAL AO BURACO NEGRO

A Lei da Gravitação Universal ganhou força com seu poder de precisão e a capacidade de explicar fenômenos ocorridos, tanto na superfície terrestre, quanto no vasto e imenso Universo, porém alguns acontecimentos estavam prestes a dar um novo rumo para a Gravitação. O físico, médico, britânico, Thomas Young, através do experimento da dupla fenda, mostrou que a luz exibia fenômenos de interferência e difração, revelando a natureza ondulatória da luz, que, antes postulada como partícula, revelava um comportamento de dualidade (MATSAS e VANZELLA, 2008).

Essa descoberta, sem dúvida, instigou a muitos, despertando o interesse em conhecer essa nova característica, apresentada pela luz. Porém foi só com o desenvolvimento do entendimento da eletricidade e do magnetismo e as contribuições do físico e matemático James Clerk Maxwell, que algumas compreensões, a respeito desse novo comportamento vieram à tona. Com as equações de Maxwell, que previam, entre outras coisas, que perturbações em um campo elétrico e magnético poderiam se propagar, de maneira auto sustentadas como ondas, possibilitaram o cálculo da velocidade de uma onda eletromagnética. Os cientistas da época se surpreenderam, quando perceberam que a velocidade encontrada era a mesma que a velocidade da luz, caracterizando-a como um tipo de onda eletromagnética. Por volta de 1887, Michelson e Morley descobriram, através de experimentos, que a velocidade da luz permanecia a mesma, independente do estado de movimento do observador, contradizendo o conhecimento daquela época, que acreditava que a velocidade para um observador em movimento, em relação ao Éter, era diferente,

dependendo em qual direção que ele se movimenta (MATSAS e VANZELLA, 2008).

Foi o físico teórico alemão Albert Einstein, nascido na cidade de Ulm, em 1879, que percebeu uma maneira bastante simples de explicar por que o Éter não produzia nenhum efeito que alterasse a velocidade da luz. Primeiro, ele deixou de considerar a existência do Éter e eliminou o princípio de referencial privilegiado, postulando a velocidade da luz como uma constante, que manteria o seu valor, independente do meio, em que se movimenta, também, se manifestar-se-ia, igualmente, para qualquer observador em referenciais distintos. Contudo, o mais admirável foi a nova definição que ele deu para o tempo e o espaço, duas entidades que tínhamos como absolutas. Einstein, agora as interpreta como relativas e, antes, eram dissociadas, agora, porém, formam uma única entidade física, denominada espaço-tempo, surgindo, então, a teoria da relatividade restrita.

Apesar dessa grande descoberta, os esforços de Albert Einstein não terminam agora, todas as teorias criadas para descrever fenômenos que se desenrolam, em um tempo e um espaço absoluto, deveriam se adequar às novas propriedades da relatividade restrita, sendo uma delas a conhecida Lei da Gravitação Universal, de Isaac Newton (MATSAS e VANZELLA, 2008).

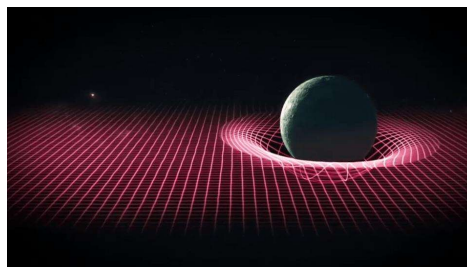
Albert Einstein deu início a sua jornada, rumo à reformulação do conceito da gravidade, com o que ele mesmo intitulou como o pensamento mais feliz, em que chegou ao princípio da equivalência, mostrando que um corpo em queda livre se comporta, localmente, como um corpo visto de um referencial acelerado na ausência de gravidade.

Segundo esse princípio, uma partícula caindo no campo gravitacional deveria ser descrita da mesma forma que uma partícula em movimento livre de forças. Contudo, ele sabia que precisaria de muito mais para conseguir criar uma nova teoria. Sabendo que teria que associar dois tipos de movimentos, o de queda e o de trajetória em linha reta, percebeu que teria que utilizar uma matemática que, até então, não tinha sido utilizada na Física. Imaginou que a

estrutura do espaço-tempo fosse curva, assim todas as partículas que tendessem a se movimentar em uma trajetória retilínea seriam obrigadas a acompanhar a curvatura do espaço-tempo, dando origem aos diversos movimentos de queda livre que se pode ter, em um campo gravitacional (MATSAS e VANZELLA, 2008).

Definiu, dessa forma, a gravidade como sendo uma manifestação da curvatura no espaço-tempo, causada por corpos com determinadas massas, fazendo com que toda matéria sinta a ação dessa deformação ao seu redor, inclusive a luz.

FIGURA 12: ESTRUTURA ESPAÇO-TEMPO



Fonte: Café e ciências, 2018

Essa teoria foi comprovada, no ano de 1919, através de um eclipse, tendo suas evidências mais precisas e nítidas coletadas na cidade de Sobral - Fortaleza, Brasil, onde, basicamente, os cientistas britânicos buscaram calcular o ângulo de deflexão da luz de uma estrela, ocasionada pela ação gravitacional do Sol.

Não obstante, mesmo antes da comprovação, em 1915, a primeira guerra mundial foi o palco de uma grande descoberta, onde o astrofísico Karl Schwarzschild, servindo a Alemanha no *front* russo, hospitalizado, devido a uma enfermidade, depara-se com a teoria da Relatividade Geral, publicada por Einstein. Dedicou-se a estudar e analisar os complicados cálculos dessa nova teoria, desenvolvendo um trabalho que investigou o campo gravitacional, na região externa de uma estrela. Os resultados alcançados por ele, sugerem, simplesmente, que estrelas compactas estariam envoltas em uma região,

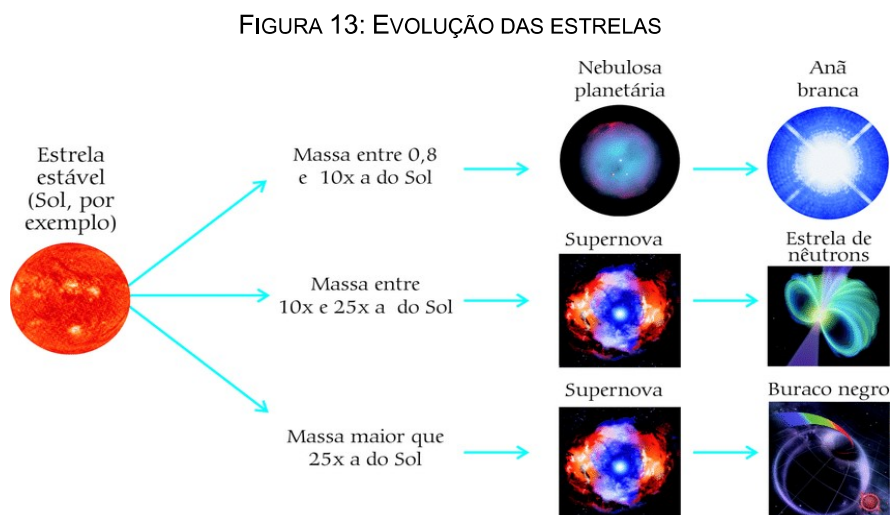
considerada de não retorno. O que Schwarzschild, na verdade, tinha conseguido foi uma solução da relatividade geral que descreve o buraco negro (HORVATH e CUSTÓDIO, 2003).

Buraco negro é o nome dado a uma região do espaço onde a gravidade é imensa, devido ao acúmulo excessivo de matéria e energia, fazendo com que nada possa escapar de seu interior. A superfície que delimita a região de não retorno é conhecida como horizonte de eventos, fazendo com que nenhum observador, que esteja fora dessa região, consiga ver o que tem dentro. Toda a energia de um buraco negro está concentrada em uma região chamada de singularidade, que pode expressar como um ponto matemático (HORVATH e CUSTÓDIO, 2003).

Esses objetos do cosmo, considerados misteriosos, existem, desde o início dos tempos, porém só com o avanço e desenvolvimento das técnicas de observação do Universo, que foi possível avançar nos estudos. Não se consegue vê-los, devido a sua própria característica peculiar, mas o seu poder gravitacional tem grande influência em seu entorno, fazendo com que a sua vizinhança seja, drasticamente, alterada. Só foi possível observar esses acontecimentos que, até então, eram desconhecidos, quando os astrônomos começaram a efetuar as observações, utilizando outros comprimentos de ondas (COUPER e HENBEST, 1996).

Nesse vasto e imensurável Universo, existem vários buracos negros e de todos os tamanhos. Têm-se os supermaciços, localizados nos centros das galáxias, surgidos desde a formação do Universo; os mini-buracos, que foram diminuindo ao passar do tempo e os provenientes de estrelas. Segundo Robert Oppenheimer e Hartland Snyder, o fim de uma estrela muito massiva deveria ser a formação de um buraco negro. A argumentação deles se sustentou, com base no trabalho realizado por Hans Bethe e Charles Cristchfield, mostrando que estrelas são gigantescas fornalhas de fusão nuclear e que quando perdem o seu combustível, começam um processo de desequilíbrio entre a pressão sofrida pela fusão e a força gravitacional, fazendo com que as estrelas comecem a colapsar. Considerando uma estrela com uma massa suficientemente grande, esse colapso terá como resultado uma explosão titânica, denominada supernova e mesmo que se perca matéria, ainda sim, existiria matéria suficiente para que

houvesse um colapso total, formando assim o buraco negro (COUPER e HENBEST, 1996).



Fonte: DAMISIO e PACHECO, 2009.

*Para que uma estrela se torne um buraco negro, no final de sua vida, é necessário que possua uma massa vinte e cinco vezes maior que a do Sol. Para massas menores, o fim poderá ser uma anã branca ou uma estrela de nêutrons.*

Os buracos negros são caracterizados, basicamente, por sua massa, carga e rotação. Mesmo possuindo uma estrutura básica, com uma singularidade em seu centro e um horizonte de eventos, há diferentes tipos de buracos negros, sendo eles:

FIGURA 14: BURACO NEGRO DE SCHWARZSCHILD



Fonte: Própria, 2020.

*Buraco negro de Schwarzschild: não possui carga e nem rotação, tendo uma estrutura Simples, formada apenas por um horizonte de eventos e uma singularidade (COUPER e HENBEST, 1996).*

FIGURA 15: BURACO NEGRO DE REISSNER-NORDSTROM



Fonte: Própria, 2020.

*Buraco negro de Reissner-Nordstrom: Sua solução foi obtida em 1918, e sua estrutura não possui rotação. Além de ter uma singularidade, dispõe de dois horizontes de eventos, um interno e outro externo (COUPER e HENBEST, 1996).*

FIGURA 16: BURACO NEGRO DE KERR



Fonte: Própria, 2020.

*Buraco negro de Kerr: Suas características o diferenciam dos outros, possuindo uma singularidade e dois horizontes de eventos, um interno e outro externo, o seu movimento de rotação arrasta consigo o tecido espaço-tempo, formando uma região denominada ergosfera. Uma região que obriga toda a matéria girar no mesmo sentido da sua rotação (COUPER e HENBEST, 1996).*

### 13 ESPAGUETIFICAÇÃO

Os buracos negros já descobertos estão, absurdamente, distantes da Terra, tornando muito difícil saber, por meio de experimentação, o que aconteceria se uma pessoa fosse engolida por um desses insaciáveis objetos do cosmo. A Teoria da Relatividade de Einstein revela intrigantes fatores e acontecimentos dessa jornada, rumo ao interior de um buraco negro.

Para que essa situação seja melhor explorada, pode-se imaginar uma pessoa que, em um ato heroico, candidata-se a explorar o interior de um buraco negro. Para isso uma excursão de físicos e astronautas sairá da terra, rumo ao destino desejado. Enquanto esse corajoso realiza o seu feito, os demais estarão na astronave, monitorando tudo. Observado então, o homem, devidamente, trajado com uma roupa de astronauta, começa sua jornada. A espaçonave está a uma distância segura, fora da última órbita estável. Cientes de que o espaço e



tempo, supostamente, são afetados pelos buracos negros, os integrantes monitoram o relógio de pulso e também observam a luz emitida por seu traje. Nos primeiros minutos da viagem, nada parece fora do normal, seu relógio de pulso continua a marcar o tempo, igual ao do relógio, no painel de controle. À medida que se aproxima do horizonte de eventos, algumas coisas começam a acontecer, os que estão na nave observam que o relógio começa a funcionar lentamente, e a luz começa a ficar mais avermelhada, devido à perda de energia, na luta contra a gravidade. Além desses acontecimentos observados, o homem começa a perceber que seu corpo está sendo esticado, devido ao intenso efeito de maré, nas regiões do buraco negro. A gravidade atua mais forte em seu pé do que na cabeça e, por isso, que provavelmente ele será esticado como um espaguete, denominando-se o fenômeno de espaguetificação. Caso o buraco negro escolhido seja supermassivo, esse efeito poderá ser amenizado, dando a oportunidade de ele sobreviver nos demais, embora quem esteja observando na nave verá sua imagem congelada devido à gravidade afetar, drasticamente, o tempo e o espaço em seu entorno, Finkelstein ao reescrever a solução de Schwarzschild, de forma diferente, descobriu que o homem continuaria seu trajeto, embora tendo uma morte agonizante, sendo despedaçado até se tornar parte da singularidade.

Esse efeito de espaguetificação é do mesmo tipo responsável pelas marés altas e baixas que ocorrem, diariamente, onde a terra sofre os efeitos gravitacionais da lua, esticando-a em sua direção.

## **14 RAIOS DE SCHWARZCHILD**

O quanto uma estrela ou qualquer outro corpo celeste precisa ser compactado para ser considerado um buraco negro, aprisionando tudo, inclusive a luz, dependerá de alcançar um raio crítico, denominado raio de Schwarzschild. Esse raio terá em suas fronteiras o horizonte de eventos e pode ser obtido utilizando-se a equação de velocidade de escape, onde será relacionada a massa do corpo com o seu raio. Já se sabe que a maior velocidade obtida no universo é a da luz, logo, qualquer corpo que tenha a velocidade de escape maior

ou igual, aprisionará tudo. Então basta substituir a velocidade de escape pela velocidade da luz para se obter o raio máximo para um corpo ser considerado um buraco negro (YOUNG e FREENDMAN, 2015).

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R_S}}$$

Explicitando  $R_S$ ,

$$R_S = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}$$

$R_S$  = Raio de Schwarzschild;

$G$  = Constante gravitacional;

$M$  = Massa do buraco negro;

$c$  = Velocidade da luz.

## 15 VELOCIDADE DE ESCAPE E DENSIDADE

Para determinar o valor da velocidade de escape de um corpo esférico, é necessário saber sua massa e seu raio. Sabendo que a densidade de um corpo é a relação entre massa e volume,  $\rho = \frac{M}{V}$ , e que ao substituir, na equação da velocidade de escape, a massa por,  $\rho.V$ , pode-se obter o mesmo valor, utilizando a densidade, então a expressão matemática ficará:

Sendo volume de um corpo esférico,  $\frac{4}{3} \pi R^3$ , tem-se:

$$v_{escape} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot \rho \cdot (\frac{4}{3} \pi R^3)}{R}};$$

Simplificando,

*Se um buraco negro possuir um raio menor que o raio de Schwarzschild, sua velocidade de escape é maior que a velocidade da luz.*

$$v_{escape} = \sqrt{\frac{8 \cdot \pi \cdot G \cdot \rho}{3}} \cdot R.$$

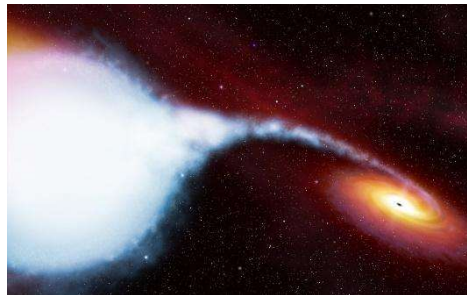
Assim, pode-se relacionar densidade, velocidade de escape e raio, para um objeto com o mesmo valor de densidade o raio será, diretamente, proporcional à velocidade de escape (YOUNG e FREENDMAN, 2015).

## 16 DESCOBRINDO UM BURACO NEGRO

Como detectar, afinal, um buraco negro se o mesmo não emite luz? Provar a existência de algo que não se pode ver foi um dos grandes desafios da ciência. Embora esses astros do cosmo tenham, em sua principal característica, o aprisionamento, até mesmo da luz, tornando-os invisíveis, os efeitos que eles causam em sua redondeza são, sem dúvida, catastróficos.

O primeiro candidato a buraco negro foi o Cygnus X-1 e a sua companheira supergigante. Estando em uma órbita binária, eles chamaram a atenção dos estudiosos e pesquisadores, quando observaram que a companheira dessa estrela supergigante era invisível e a emissão de raios x indicavam uma violenta atividade na região. Essa emissão ocorre, devido ao escoamento do gás da estrela para o buraco negro, formando o disco de acreção que, ao se aproximar do horizonte, o evento vai adquirir velocidade elevada o suficiente para que ao se atritarem aumente sua temperatura, emitindo os raios x (MATSAS e VANZELLA, 2008).

FIGURA 17: CYGNUS X-1



Fonte: Wikipédia, 2009.

Quando o buraco negro e uma estrela estão em um sistema duplo, pode-se chegar ao valor das massas, analisando-se a órbita deles. É, através da Gravidade, que o buraco negro faz com que a sua companheira a orbite e quanto maior for o seu poder gravitacional, maior será a velocidade orbital. Em Cygnus X-1, o buraco negro tem, aproximadamente, 10 massas solares.

Segundo YOUNG e FREENDMAN, esse valor poderá ser calculado, através do desvio aparente, produzido pela aproximação e o afastamento de

uma fonte luminosa. Pode-se, também, calcular, seguindo a Terceira Lei de Kepler, que ao substituir a massa do Sol pela massa do buraco negro ter-se-á:

$$M_B = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot a^3}{G \cdot T^2} .$$

$a$  = Raio da órbita;

$G$  = Constante gravitacional;

$T$  = Período orbital.

## 17 ATIVIDADES PARA O ENSINO DE GRAVITAÇÃO

Utilizando uma abordagem, com foco na investigação, as atividades foram desenvolvidas para compor um material didático, a fim de se caracterizar uma sequência didática sobre gravitação. Porém cada atividade-aula tem seu próprio objetivo de aprendizagem, sua situação-problema e seu procedimento, possibilitando ao professor desenvolver em sala de aula as atividades individuais, de acordo com a necessidade e contexto dos envolvidos. A sequência tem um tempo estimado de onze aulas, sendo composta por uma atividade introdutória para acessar as concepções iniciais dos alunos, quatro atividades investigativas, uma atividade histórica-investigativa e uma demonstração experimental investigativa.

Ao desenvolver atividades que fogem do tradicionalismo, o professor precisa ressignificar a forma de avaliação, uma etapa importante e indispensável do cotidiano escolar. Os critérios avaliados pelo professor precisam ser bem claros e informados aos alunos, antes do início de cada atividade. Para que sejam avaliados todos os tipos de aprendizagem objetivados, a sugestão é que se avalie todo o processo. Podendo ocorrer, no final de cada atividade ou uma única avaliação no término da sequência.

**Aprendizagem conceitual:** para avaliar esse tipo de aprendizagem, o professor deverá se atentar para a apropriação de instrumentos físicos e símbolos, avaliando a capacidade dos alunos de descrição dos conceitos e utilização para explicação de determinado fenômeno e resolução de problemas.

**Aprendizagem procedimental:** para avaliar esse tipo de aprendizagem, o professor deverá se atentar na realização, reflexão e na aplicação, no decorrer das atividades, avaliando se os alunos estruturam e interpretam ideias, elaboram e testam hipóteses, desenvolvem e aplicam modelos explicativos e comunicam seus resultados, oralmente ou por relatórios.

**Aprendizagem atitudinais:** para avaliar esse tipo de aprendizagem o professor deverá se atentar ao estado comportamental do aluno, diante da situação-problema, avaliando se os alunos trabalham em grupos, questionam, dialogam, assumem uma postura crítica e de investigação e respeitam as divergências.

Todos os debates, inferências, produções de textos e desenhos, comunicações e interações poderão ser instrumentos de avaliação e auxiliar o professor na tarefa de avaliar os seus alunos.

### **Feedback**

Ao avaliar, com nota, o aprendizado e o desenvolvimento do aluno, o professor precisa oferecer um feedback, apontando os pontos positivos e negativos, permitindo ao avaliado ter consciência de como foi o seu desempenho, durante a realização das atividades. Somente assim, poderão fazer uma auto avaliação, responsabilizando-se pela sua aprendizagem e buscando melhorar. Então, a cada avaliação deve oferecer um feedback para seus alunos, mostrando em que ponto errou ou acertou.

## Atividade do modelo planetário

### Objetivo

Objetivos conceituais: compreender a organização do sistema solar e a disposição e movimentação dos corpos celestes nele existentes.

Objetivos Procedimentais: confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses e apresentar fatos.

Objetivos atitudinais: expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias, desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura investigativa, mediante uma situação-problema.

### Número de aulas

Para essa atividade estão previstas duas aulas.

### Resumo

Essa atividade introdutória é para que o conhecimento prévio dos alunos seja acessado, podendo-se introduzir, dessa forma, conceitos iniciais sobre a movimentação dos planetas e suas órbitas. A atividade foi dividida em dois momentos, o primeiro momento realizado, na primeira aula, em que os alunos deverão construir um modelo planetário e o segundo momento (debate e sistematização) será, na segunda aula, em que todos os alunos e o professor, através de um debate, sistematizam o conteúdo.

### Primeira aula

#### Estratégica didática

Primeiramente, o professor deverá explicar para os alunos qual atividade será desenvolvida, deixando bem claro os procedimentos, tempo e forma de avaliação. Após, a turma deverá ser dividida em grupos, de até quatro integrantes, e em seguida deverá ser feita a distribuição dos materiais necessários para a realização da atividade. Neste primeiro momento, a realização da atividade será desenvolvida entre os integrantes dos grupos, tendo eles a autonomia de tomarem as decisões necessárias para a construção do modelo planetário. É importante que o professor estabeleça o tempo para a realização da atividade.

#### Atividade

Para desenvolver a atividade serão utilizados os seguintes materiais: isopor, cartolina, EVA, tinta guache, espeto de madeira, lápis e tesoura. Foi solicitado que fosse construído um modelo planetário, representando as órbitas, tamanho e a localização de cada corpo celeste existente no Sistema Solar.

## Segunda aula

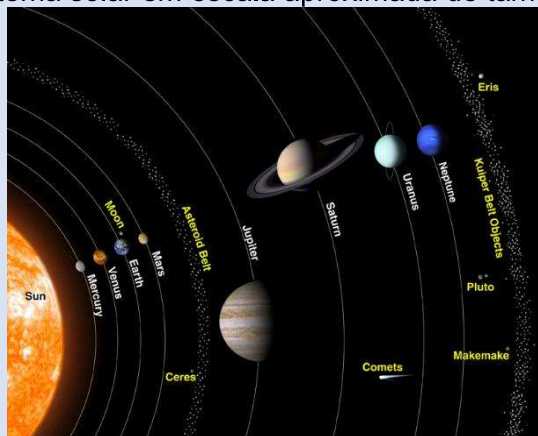
### Estratégia didática

No segundo momento, a atividade será desenvolvida, coletivamente, de forma que a interação seja aluno/aluno e aluno/professor.

A atividade consiste em promover um debate, através da comparação dos modelos planetários, construído pelos alunos, com o aceito, atualmente, pelo meio científico, a fim de evidenciar características do movimento planetário e sistematizar os conceitos introdutórios, relacionados à Gravidade.

Primeiramente, foi apresentada uma foto do sistema planetário, atualmente, aceito divulgado pela NASA.

Sistema solar em escala aproximada de tamanho



Fonte: NASA

Em seguida, o professor pedirá aos alunos que apontem as diferenças existentes entre o modelo apresentado e os modelos construídos por eles (caso existam diferenças). É importante que, em todo momento, os alunos tenham liberdade para expor as diferenças encontradas e suas concepções a respeito do tema.

A fim de estimular o debate e sistematizar, de forma que ocorra uma construção de conhecimento democrática entre professor-aluno dos conteúdos propostos pela atividade, além da imagem apresentada, o professor poderá levantar alguns questionamentos. Sendo eles:

- Quem se movimenta, a Terra ou o Sol?
- Por que é o Sol que está no centro e não qualquer outro planeta?
- Por que os planetas giram em torno do Sol?
- Qual planeta demora menos tempo para dar uma volta completa no Sol?
- Há diferença de velocidade entre os planetas? Qual tem maior velocidade? O que influencia para que ele tenha uma maior velocidade?
  - Existem outros corpos celestes no sistema solar, além do Sol e dos planetas? Se sim, eles sofrem alguma influência do Sol?



**Sistematização**

Nessa etapa, o professor utilizará a própria discussão e debate estabelecido ao se comparar os modelos do Sistema Solar, criados pelos alunos e a imagem. Lembrando que nessa etapa de fechamento da atividade, todos os questionamentos levantados, sendo eles pelo professor ou pelos alunos, deverão ser respondidos. Caso os alunos não consigam responder é de extrema importância que o professor assuma e sistematize o conteúdo.

**Proposta de avaliação**

Para avaliar as aprendizagens conceituais, procedimentais e atitudinais nesta atividade, o professor poderá utilizar o modelo planetário produzido pelos alunos, no primeiro momento da atividade e nos momentos de interações entre aluno/aluno e aluno/professor, momentos de debates, exposições de ideias e reflexões coletivas ou individuais dos alunos.

## Atividade das órbitas dos satélites

### Objetivo

Objetivo conceitual: compreender os conceitos iniciais sobre Gravidade, as órbitas dos planetas, diferenciar satélites naturais e artificiais, refletir sobre sua importância e entender velocidade, período, força gravitacional, aceleração e velocidade de escape.

Objetivos procedimentais: confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses, apresentar fatos e produzir texto/desenho.

Objetivos atitudinais: expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias, desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura investigativa, mediante a uma situação-problema.

### Número de aulas

Para essa atividade está prevista uma aula.

### Resumo

Esta atividade investigativa, com questão aberta, será dividida em dois momentos. O primeiro momento é a realização da atividade e o segundo momento é a sistematização dos conceitos.

### Estratégia didática

Primeiramente, o professor deverá explicar para os alunos qual atividade será desenvolvida, deixando bem claro os procedimentos, tempo e forma de avaliação. Após, a turma deverá ser dividida em grupos de até quatro integrantes. No primeiro momento, a realização da atividade será desenvolvida entre os integrantes dos grupos, em que deverão resolver o problema apresentado, em forma de questão aberta. No segundo momento, o desenvolvimento da atividade será coletivo, de forma que a interação seja aluno/aluno e aluno/professor e a sistematização dos conceitos seja feita de forma colaborativa. É importante que se estipule um tempo para cada etapa da atividade.

### Atividade

Os satélites são corpos que orbitam um planeta ou outros corpos maiores e podem ser naturais, como, por exemplo, a Lua ou artificiais, construídos pelo homem e colocados em órbita para determinadas utilidades.



FONTE: <https://www.infofisica.com/telecomunicacoes/satelites-de-comunicacao/>

Você já parou para pensar, como isso é possível? Qual a importância dos satélites para a humanidade? Como os satélites conseguem se manter em órbita? Por que eles não caem? Por que eles não vão para o espaço?

Em grupo, os estudantes levantarão hipóteses e elaborarão argumentos sobre as possíveis respostas para esses questionamentos. Após discussão, deverão fazer um pequeno resumo.

### Sistematização

Nesta etapa, o professor deverá usar as produções dos próprios alunos para levantar um debate, a fim de responder às questões da situação-problema. No fechamento da atividade, é de extrema importância que, no momento da sistematização, os alunos participem, ativamente, junto com o professor, e se sintam parte importante da resolução. Para isso, vale ressaltar que uma postura questionadora poderá fomentar o debate entre todos.

### Proposta de avaliação

Para avaliar as aprendizagens conceituais, procedimentais e atitudinais, nesta atividade, o professor poderá utilizar o resumo produzido pelos alunos, no primeiro momento da atividade e nos momentos de interações entre aluno/aluno e aluno/professor, momentos de debates, exposições de ideias e reflexões coletivas ou individuais dos alunos.

## Atividade de velocidade de escape

### Objetivo

Objetivo conceitual: compreender a velocidade de escape e suas aplicações.

Objetivos procedimentais: confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses, apresentar fatos, generalizar para outros contextos e produzir texto/desenho.

Objetivos atitudinais: expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias, desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura investigativa mediante a uma situação-problema.

### Número de aulas

Para essa atividade está prevista uma aula.

### Resumo

Esta atividade investigativa, de questão aberta, será dividida em dois momentos. O primeiro momento é a resolução das questões da situação-problema e o segundo momento é a sistematização dos conceitos.

### Estratégia didática

Primeiramente, o professor deverá explicar para os alunos qual atividade será desenvolvida, deixando bem claro os procedimentos, tempo e forma de avaliação. Após, a turma deverá ser dividida em grupos, de até quatro integrantes. No primeiro momento, a realização da atividade será desenvolvida entre os integrantes dos grupos, que deverão resolver o problema apresentado, em formato de questão aberta. No segundo momento, o desenvolvimento da atividade será coletivo, de forma que a interação seja aluno/aluno e aluno/professor e a sistematização seja realizada de forma colaborativa. É importante que se estipule um tempo para cada etapa da atividade.

### Atividade

Você, provavelmente, já jogou algo para cima e observou que após um determinado tempo, ele retornou.

Pessoas jogando algo para cima



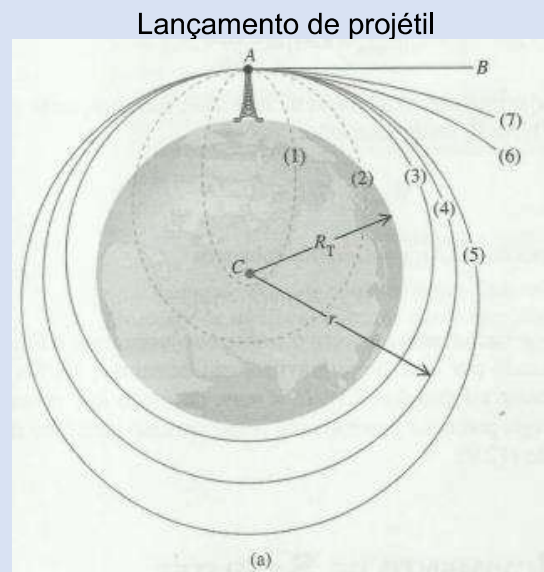
Fonte: Internet

Será que tudo que é lançado para cima retorna à superfície da Terra? O que poderia ser feito para que um objeto não retornasse, após ser lançado? Caso seja possível, qual a sua aplicabilidade?

Em grupo, levantarão hipóteses e elaboraram argumentos sobre as possíveis respostas para esses questionamentos e construíram um modelo explicativo da conclusão do grupo.

### Sistematização

Nessa etapa, o professor pedirá para que os grupos apresentem os modelos explicativos que elaboraram. Os modelos produzidos pelos próprios alunos, serão uma oportunidade para que se inicie um debate sobre a temática. Para complementar a sistematização, o professor fazendo uso de um aparelho de projeção, mostrará a seguinte imagem:



Fonte: Young e Freedman (2015)

Essa imagem será acompanhada do seguinte questionamento: Como essa figura poderia ajudar a responder às questões do problema investigado?

Por meio de um diálogo e de forma democrática, professor e aluno realizam a sistematização.

### Proposta de avaliação

Para avaliar as aprendizagens conceituais, procedimentais e atitudinais nesta atividade, o professor poderá utilizar o modelo explicativo produzido pelos alunos, no primeiro momento da atividade e nos momentos de interações entre aluno/aluno e aluno/professor, momentos de debates, exposições de ideias e reflexões coletivas ou individuais dos alunos.

## Atividade histórica-investigativa construindo uma linha do tempo

### Objetivo

Objetivo conceitual: compreender a Relatividade Geral de Albert Einstein, mostrando, historicamente, a construção do conceito da Gravidade e a necessidade de uma nova teoria para responder questões que a Lei da Gravitação Universal de Newton não respondia com precisão. Refletir sobre a história dos buracos negros, sobre os físicos que contribuíram e como a situação se encontra no cenário da pesquisa atual.

Objetivos procedimentais: confeccionar modelos explicativos, contextualizar situações, produzir texto/desenho e apresentar fatos.

Objetivos atitudinais: expor ideias, respeitar o posicionamento e pensamento divergentes, questionar ideias e desenvolver um posicionamento crítico.

### Número de aulas

Para essa atividade está prevista três aulas.

### Estratégia didática

Primeiramente, o professor deverá explicar para os alunos qual atividade será desenvolvida, deixando bem claro os procedimentos, tempo e forma de avaliação. Após, a turma deverá ser dividida em grupos, de até quatro integrantes. No primeiro momento, a realização da atividade será desenvolvida entre os integrantes dos grupos. O professor disponibilizará os materiais de apoio para os alunos pesquisarem e construirão a linha do tempo. No segundo momento, o desenvolvimento da atividade será coletivo, de forma que a interação seja aluno/aluno e aluno/professor, e a sistematização ocorra de forma colaborativa. É importante que se estipule um tempo para cada etapa da atividade.

### Materiais de apoio

Como material de apoio, o professor poderá disponibilizar para os alunos, além do acesso à internet, alguns textos que abordam a temática. As sugestões são:

MATSAS, G. E. A.; VANZELLA, D. A. T. **Buracos negros**. Rio de Janeiro, Vieira e Lent, 2008. V. 1. 118p.

DAMASIO, F.; RICCI, T. F. **Relatividade de Einstein em uma abordagem histórica-fenomenológica**. Textos de apoio ao professor de Física, v. 20, p. 1-49, 2009.

DAMASIO, F.; PACHECO, S. M. V. **Buracos nem tão negros assim**. A Física na Escola, v. 10, p. 30-35, 2009.

CASTINEIRAS, J.; CRISPINO, L. C. B.; MATSAS, G. E. A.; VANZELLA, D. A. T. **O Retrato do Mostrengo**. Scientific American Brasil, p. 32-39, 24 de maio de 2006.

### Atividade

Usando os materiais de apoio, os estudantes deverão construir uma linha do tempo com os principais acontecimentos e as principais descobertas sobre a Gravidade, destacando a relevância histórica-social e aspectos influenciadores para a construção do conceito, até chegar aos buracos negros.

### Sistematização

A sistematização do conteúdo ocorrerá no segundo momento. O professor pedirá para que os grupos apresentem as linhas do tempo construídas, nesse momento, terá a oportunidade de estabelecer um diálogo com a turma e sistematizar o conteúdo.

### Proposta de avaliação

Para avaliar as aprendizagens conceituais, procedimentais e atitudinais, nesta atividade, o professor poderá utilizar as linhas do tempo, construídas pelos alunos, no primeiro momento da atividade e nos momentos de interações entre aluno/aluno e aluno/professor, momentos de debates, exposições de ideias e reflexões coletivas ou individuais dos alunos.



## Demonstração investigativa da cama elástica

### Objetivo

Objetivo conceitual: compreender a deformação do tecido espaço-tempo, suas consequências e como Albert Einstein descreve a Gravidade.

Objetivos procedimentais: confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses, apresentar fatos, generalizar para outros contextos.

Objetivos atitudinais: expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias, desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura investigativa.

### Número de aulas

Para essa atividade está prevista uma aula.

### Resumo

A atividade de demonstração investigativa será conduzida pelo professor. Com a Cama Elástica já montada, o professor assumirá o manuseio do experimento, mas isso não significa que o levantamento e testagem de hipóteses serão feitas somente por ele. Todos deverão participar, ativamente, de todo o processo. Essa atividade será desenvolvida em dois momentos, a demonstração e desenvolvimento do experimento e a sistematização.

### Estratégia didática

Primeiramente, o professor deverá explicar para os alunos qual atividade será desenvolvida, deixando bem claro os procedimentos, tempo e forma de avaliação. O primeiro momento será desenvolvido de forma coletiva, estando o professor no manuseio do experimento e assumindo uma postura questionadora em todo o desenvolvimento da demonstração. Nesse experimento não existe somente uma situação-problema inicial, durante o experimento o professor problematiza diferentes situações que levam os alunos a questionarem, levantarem e testarem hipóteses, construir modelos explicativos e debaterem. No segundo momento, o professor entregará uma atividade e pedirá para que os alunos a desenvolvam, a fim de usá-la para sistematização dos conceitos trabalhados na aula.

### Procedimento experimental

Primeiramente, apresente o experimento, mostre a sua estrutura, as bolinhas e resuma, de forma simples, como tudo foi construído.

Para iniciar a demonstração, contextualizando o experimento, o professor poderá iniciar com o seguinte questionamento: a que pressuposto da Física estudado, até o momento, pode-se associar a essa cama elástica?

Neste momento, objetiva-se a associação do tecido da cama elástica com o tecido espaço-tempo. Caso, após o debate entre os alunos, não consigam fazer essa associação, o professor precisará mediar para que, por conta própria, cheguem à resposta.

Depois desse momento inicial, o professor poderá começar problematizando a seguinte situação: o que acontece se eu colocar bolinhas de diferentes massas em cima do tecido?

Assim que todos apresentarem suas hipóteses e discutirem, o professor, juntamente com os alunos, testaram e validaram as hipóteses levantadas. Então, o professor pode explorar, colocando bolinhas de diversos tamanhos e pesos. Permitindo que questionem e discutam os resultados observados. Prosseguindo a problematização, o professor questionará: o que acontecerá se forem colocadas duas bolinhas, em cima do tecido? Tem-se alguma diferença, em situações em que elas possuem o mesmo peso ou pesos diferentes?

Após levantarem as hipóteses, testem. Esse momento será importante para demonstrar a atração entre os corpos. Corpos de pesos iguais se atraem, movimentando-se juntos, e os corpos de pesos diferentes, o de menor peso, fará um maior deslocamento.

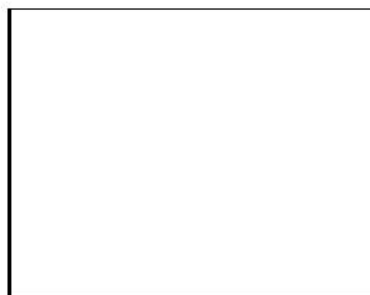
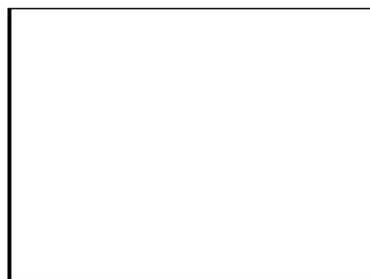
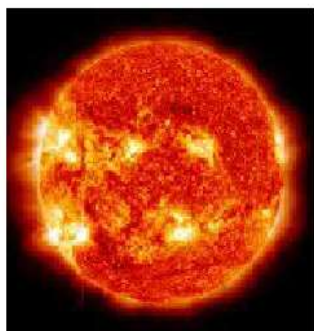
Em seguida, coloque um objeto com massa suficiente para deformar o tecido e problematize: o que acontecerá se uma bolinha for lançada para uma determinada direção? A partir das respostas dos alunos, o professor poderá seguir com a demonstração.

Essa demonstração será muito importante para que os alunos consigam visualizar os efeitos da gravidade na órbita de um planeta, satélite ou qualquer outro corpo celeste. Nesse momento, o professor mantendo uma postura problematizada, poderá explorar diversas situações, como: a órbita de três corpos, lançar muitas bolinhas em uma direção ou em direções diferentes, explorar os diferentes níveis de órbitas e de deformações do tecido.

### **Sistematização**

No momento de sistematização, o professor pedirá aos alunos que façam a seguinte atividade:

Sabemos que a teoria de Relatividade Geral, revelou que a Gravidade é ocasionada pela deformação que corpos massivos provocam no espaço-tempo. Desenhem como seria a deformação do espaço-tempo de um buraco negro em relação ao Sol e a Terra.



Utilizando os desenhos produzidos pelos alunos, o professor poderá estabelecer um debate, questionando alguns conceitos, ainda em aberto, fazendo um momento de reflexão sobre a Teoria da Relatividade Geral.

**Proposta de avaliação**

Para avaliar as aprendizagens conceituais, procedimentais e atitudinais nesta atividade, o professor poderá utilizar os momentos de interações entre aluno/aluno e aluno/professor, momentos de debates, exposições de ideias e reflexões coletivas ou individuais dos alunos, no momento do experimento e a atividade realizada, no momento da sistematização.

## Atividade Buracos Negros

### Objetivo

Objetivo conceitual: compreender conceitos iniciais dos buracos negros, o efeito da gravidade nesses corpos, tipos de buracos negros, horizonte de evento e singularidade.

Objetivos procedimentais: confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses, apresentar fatos, generalizar para outros contextos e produzir desenho.

Objetivos atitudinais: expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias, desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura investigativa, mediante uma situação-problema.

### Número de aulas

Para essa atividade está prevista uma aula.

### Resumo

Esta atividade será dividida em dois momentos, o primeiro momento será a resolução do problema apresentado, em forma de questão aberta, e o segundo momento, a sistematização dos conceitos.

### Estratégia didática

Primeiramente, o professor deverá explicar para os alunos qual atividade será desenvolvida, deixando bem claro os procedimentos, tempo e forma de avaliação. A turma será dividida em grupos, de quatro integrantes, e entregue a atividade a ser realizada no primeiro momento. Após a realização da atividade, o segundo momento se inicia, de forma coletiva colaborativa professor e alunos, sistematizando o conteúdo. Para que se estabeleça um debate, o professor poderá pedir para que os alunos apresentem as respostas desenvolvidas pelos grupos.

### Atividade

Sabemos que para um objeto sair da atmosfera de um corpo celeste, ele precisa atingir uma velocidade de escape mínima, capaz de vencer a força gravitacional do mesmo. Será que existe algum corpo celeste cuja velocidade de escape seja maior que a velocidade limite existente, a velocidade da luz? Caso exista, o que acontece com toda a matéria existente nesses corpos? Poderíamos estabelecer algum tipo de contato com a matéria existente dentro dele? O que aconteceria se nos aproximássemos desses objetos?

Em grupo, levantarão hipóteses e elaborarão argumentos sobre as possíveis respostas para esses questionamentos. Depois deverão elaborar um resumo da conclusão do grupo.

### Sistematização

Para finalizar a aula, peça para que os alunos expressem sobre o que os grupos concluíram e estabeleça um debate, a fim de sistematizar, de forma coletiva, os conceitos trabalhados na aula.

### Material de apoio aos estudantes

DAMASIO, F.; PACHECO, S. M. V. **Buracos nem tão negros assim**. A Física na Escola, v. 10, p. 30-35, 2009.

CASTINEIRAS, J.; CRISPINO, L. C. B.; MATSAS, G. E. A.; VANZELLA, D. A. T. **O Retrato do Mostrengo**. Scientific American Brasil, p. 32-39, 24 de maio de 2006.

### Proposta de avaliação

Para avaliar as aprendizagens conceituais, procedimentais e atitudinais, nesta atividade, o professor poderá utilizar a resposta do exercício e os momentos de interações entre aluno/aluno e aluno/professor, momentos de debates, exposições de ideias e reflexões coletivas ou individuais dos alunos no momento da realização da atividade.

## Atividade raio de Schwarzschild

### Objetivo

Objetivo conceitual: compreender o raio crítico (Raio de Schwarzschild) para que um determinado corpo seja considerado um buraco negro capaz de aprisionar, até a luz.

Objetivos procedimentais: confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses, apresentar fatos, generalizar para outros contextos e produzir texto/desenho.

Objetivos atitudinais: expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias, desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura investigativa mediante uma situação-problema.

### Número de aulas

Para essa atividade está prevista uma aula.

### Situação-problema

Se o Sol se tornasse um buraco negro, o que aconteceria com a órbita e a vida no nosso planeta Terra?

### Resumo

Essa atividade será realizada em dois momentos. O primeiro momento será a resolução da situação-problema e, o segundo momento, a sistematização dos conceitos.

### Estratégia didática

Primeiramente, o professor deverá explicar para os alunos qual a atividade a ser desenvolvida, deixando bem claro os procedimentos, tempo e forma de avaliação. Ao iniciar a atividade, o professor deverá apresentar a situação-problema aos alunos, encorajando-os a buscar respostas. Em grupos de quatro integrantes, os alunos deverão criar uma solução para responder à problemática inicial, usando o material de apoio para pesquisa e investigação. O segundo momento será a sistematização. É importante que ao iniciar a atividade o professor estabeleça tempo para cada etapa.

### Sistematização

Nesta etapa, os alunos expressarão as respostas que, em grupo, construíram, estabelecendo em sala de aula, através da mediação do professor um debate entre todos, de forma a possibilitar a sistematização dos conceitos.

### Material de apoio aos estudantes

MATSAS, G. E. A.; VANZELLA, D. A. T. **Buracos negros**. Rio de Janeiro, Vieira e Lent, 2008. Volume 1.

**HORVATH, J. E.; CUSTODIO, P.** Os buracos negros na ciência atual: um brevíssimo manual introdutório. **1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2013. v. 1. P. 120.**

**COUPER, H.; HENBEST, N. .** Buracos negros: Uma viagem ao centro de um buraco negro – um dos maiores do Universo. **Liege M. S. Marucci. São Paulo. Moderna, 1997**

### Proposta de avaliação

Para avaliar as aprendizagens conceituais, procedimentais e atitudinais, nesta atividade, o professor poderá utilizar a resposta do exercício e os momentos de interações entre aluno/aluno e aluno/professor, momentos de debates, exposições de ideias e reflexões coletivas ou individuais dos alunos no momento da realização da atividade.



## Atividade “Espaguetificação do astronauta”

### Objetivo

Objetivo conceitual: compreender os efeitos de maré, em um buraco negro e associá-los às marés altas e baixas do nosso cotidiano.

Objetivos procedimentais: confeccionar modelo explicativo, contextualizar situações, levantar e testar hipóteses, apresentar fatos, generalizar para outros contextos e produzir texto/desenho.

Objetivos atitudinais: expor ideias, respeitar os posicionamentos e pensamentos divergentes, questionar ideias, desenvolver um posicionamento crítico e assumir uma postura investigativa, mediante uma situação-problema.

### Número de aulas

Para essa atividade está prevista uma aula.

### Resumo

Essa atividade será realizada em dois momentos. No primeiro momento, ocorrerá a realização da atividade e, no segundo momento, a sistematização dos conceitos.

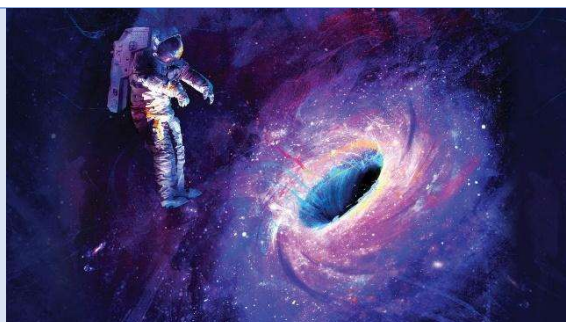
### Estratégia didática

Primeiramente, o professor deverá explicar para os alunos qual a atividade a ser desenvolvida, deixando bem claro os procedimentos, tempo e forma de avaliação. Ao iniciar a atividade, o professor deverá apresentar a situação-problema aos alunos, encorajando-os a buscar respostas. Em grupos de quatro integrantes, os alunos deverão criar uma solução para responder à problemática inicial, usando o material de apoio para pesquisa e investigação. O segundo momento será a sistematização. É importante que se estabeleça tempo para cada etapa de atividade.

### Situação-problema

Imagine que, observada por seus colegas na espaçonave, uma astronauta começa uma jornada, rumo ao encontro de um buraco negro.

O que acontecerá com a astronauta quando ela ultrapassar o horizonte do evento? Será que há possibilidade de existir vida dentro de um buraco negro?



Fonte: Internet

Em grupo, levantem hipóteses, discutam, façam um texto e ilustrem, respondendo a problemática.

### Sistematização

Nesse momento, peça para que os grupos falem como eles relataram essa entrada da astronauta no buraco negro e, junto com as colocações dos alunos, comece a sistematizar o conceito de espaguetificação e associá-lo ao efeito de maré.

### Material de apoio aos estudantes

MATSAS, G. E. A.; VANZELLA, D. A. T. **Buracos negros**. Rio de Janeiro, Vieira e Lent, 2008. Volume 1.

**HORVATH, J. E.; CUSTODIO, P.** Os buracos negros na ciência atual: um brevíssimo manual introdutório. **1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2013. v. 1, p. 120.**

**COUPER, H. ; HENBEST, N. .** Buracos negros: Uma viagem ao centro de um burago negro – um dos maiores do Universo. **Liege M. S. Marucci. São Paulo. Moderna, 1997**

### Proposta de avaliação

Para avaliar as aprendizagens conceituais, procedimentais e atitudinais nesta atividade, o professor poderá utilizar a resposta do exercício e os momentos de interações entre aluno/aluno e aluno/professor, momentos de debates, exposições de ideias e reflexões coletivas ou individuais dos alunos no momento da realização da atividade.

## REFERÊNCIAS

ALVES, NATÁLIA. **Leis de Kepler – quais são? 1ª, 2ª e 3ª leis e exercícios resolvidos**. Gestão Educacional. Acesso em 28 de março de 2020.

BERTELLI, MIGUEL. **Leis de Kepler**. Quero Bolsa. Disponível em: <https://querobolsa.com.br/enem/fisica/leis-de-kepler>. Acesso em 28 de março de 2020.

BORGES, NICOLAU. **Lei de Newton da Gravitação Universal. Os Fundamentos da Física**. Disponível em: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2012/11/> . Acesso em 29 de março de 2020.

CAFÉ E CIÊNCIAS. **A relatividade de Einstein e a estrutura do espaço-tempo**. Disponível em: <https://www.cafeeciencia.com.br/categorias/astronomia-e-afins/a-relatividade-de-einstein-e-a-estrutura-do-espaco-tempo.html>. Acesso em 31 de março de 2020.

CARVALHO, A. M. P. **O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas**. In: CARVALHO, A.M.P. Org. Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 1-20.

COUPER, H; HENBEST, N. **Buracos negros: Uma viagem ao centro de um buraco negro – um dos maiores do Universo**. Liege M. S. Marucci. São Paulo. Moderna, 1997.

DAMASIO, F. ; PACHECO, S. M. V. . **BURACOS nem tão NEGROS assim. A Física na Escola (Online)**, v. 10, p. 30/6-35, 2009.

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira e. **"Geocentrismo e Heliocentrismo"**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/geocentrismo-heliocentrismo.htm>. Acesso em 28 de março de 2020.

"Geometria analítica - **Cônicas**" em *Só Matemática*. Virtuuous Tecnologia da Informação, 1998-2020. Consultado em 28/03/2020 às 10:52. Disponível na Internet em: <https://www.somatematica.com.br/emedio/conicas/conicas1.php>

GOMES, JAIRO. **Gravitação Universal**. Algosobre. Disponível em: <https://www.algosobre.com.br/fisica/gravitacao-universal.html#menu2>. Acesso em 28 de março de 2020.

HORVATH, J. E.CUSTÓDIO, P. **Os buracos negros na ciência atual: um brevíssimo manual introdutório**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2013. v. 1, p. 120.

HUGH, D. YOUNG, ROGER A. FREEDMAN - **Física II Termodinâmica e Ondas**. 2-Pearson Prentice Hall, 2016/1.

KOPPENS, YLANITE. **Newton Bala de Canhão**, Gravitação, órbita PNG, Disponível em: <https://www.gratispng.com/png-3ydv3j/>. Acesso em 29 de março de 2020.

MATSAS, G. E. A.; VANZELLA, D. A. T. **Buracos Negros**. Rio de Janeiro: Vieira e Lent, 2008. v. 1, p.118.

SÁ, ELIANE FERREIRA DE.; PAULA, H. F. ; LIMA, M. E. C. C. ; AGUIAR JÚNIOR, ORLANDO GOMES DE . **As características das atividades**

**investigativas segundo tutores e coordenadores de um curso de especialização em ensino de ciências.** In: VI ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007, Florianópolis. Atas do VI ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007.

SILVA JUNIOR, J. S. **Terceira Lei de Kepler. Educação.** Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/terceira-lei-kepler.htm>. Acesso em 28 de março de 2020.

TIAGO. **Campo Gravitacional.** EXATAS JOÃO MORETTI "PROFº THIAGO. Disponível em: <http://exatasjm.blogspot.com/>. Acesso em 28 de março de 2020.

VARELLA, I. G. **Periodicidade nas Oposições de Marte.** Astronomia e Astrofísica. Disponível em: [http://www.uranometrianova.pro.br/astronomia/AA006/opus\\_marte.htm](http://www.uranometrianova.pro.br/astronomia/AA006/opus_marte.htm). Acesso em 28 de março de 2020.

## APÊNDICE B

INSTRUMENTO DE ANÁLISE, AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS SEQUÊNCIAS DIDÁDICAS					
Tema da SEI:					
Data: / /			Público alvo:		
Nome do professor avaliador:					
Disciplina(s) ministrada(s) pelo avaliador:					
A – ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO					
Este grupo de análise está dividido em quatro itens de avaliação. Tem como função avaliar aspectos de apresentação das SEI e sua organização, desta forma faz-se necessário a observância dos elementos organizacionais de relação, clareza linguística, componente temporal e articulação entre o texto de física e as atividades propostas.					
Atribuir um valor de suficiência sendo: 1 (Discordo totalmente); 2 (Discordo); 3 (Indiferente); 4 (Concordo); 5 (Concordo totalmente).	1	2	3	4	5
<b>A1. Qualidade e originalidade da SD:</b> Neste item avaliativo deve-se observar a originalidade da sequência didática e se existem outras propostas muito parecidas e se a SEI é inovadora. <i><b>Essa SEI é original e inovadora?</b></i>					
<b>A2. Clareza e inteligibilidade da proposta:</b> A SEI precisa possuir uma redação clara e direta, contendo todas as explicações necessárias para seu desenvolvimento. Deve-se considerar se, conforme redigida, as explicações são suficientes para um entendimento do que é proposto e como esta deve ser aplicada em sala de aula. <i><b>Essa SEI é Clara e inteligível?</b></i>					
<b>A3. Adequação do tempo segundo as atividades propostas e sua executabilidade:</b> O tempo é sempre uma variável importante nas atividades educacionais e também um fator limitante nas situações de sala de aula. <i><b>O tempo designado é condizente com as atividades e com a abordagem do Enci?</b></i>					
<b>A4. Coerência Interna da SEI:</b> Não é interessante que as situações-problema se restrinjam apenas a uma apresentação inicial de questionamentos a serem elucidados mediante a conceituação apresentada nas aulas, e sim, que se construa por meio de uma estrutura a articulação entre diversos elementos de ensino. <i><b>Existe coerência em relação a articulação da abordagem do Enci, as atividades propostas e a avaliação?</b></i>					
B- SITUAÇÃO-PROBLEMA					

O problema em uma atividade investigativa é um elemento importante, que conduz o aluno ao processo de solução, resultando na produção de conhecimento científico. Sendo o ponto de partida, precisa estar bem articulado, organizado, ser intrigante e desafiador, para que possibilite a sua resolução, permitindo aos alunos uma diversificação de suas ações (Carvalho, 2013; Solino e Sasserom, 2018).					
Atribuir um valor de suficiência sendo: 1 (Discordo totalmente); 2 (Discordo); 3 (Indiferente); 4 (Concordo); 5 (Concordo totalmente).	1	2	3	4	5
<b>B1. O Problema:</b> É necessário observar se a escolha do problema e sua formulação foram construídas segundo a temática proposta, se é atual e principalmente se é suscetível à investigação. A situação-problema precisa promover um engajamento dos alunos. Devem ser potencialmente intrigantes e permitir uma diversificação de ações para a sua resolução. <i><b>A situação-problema se constitui como um problema autêntico de investigação?</b></i>	Problema 01				
	Problema 02				
	Problema 03				
	Problema 04				
	Problema 05				
	Problema 06				
	Problema 07				
<b>B2. Articulação entre os conceitos e a situação-problema:</b> Deve existir estreita relação entre a situação-problema das atividades e os conceitos chaves, pois tais conceitos precisam ser capazes de contribuir para a solução do problema apresentado, para que se alcancem os objetivos que tal atividade se propõe. <i><b>Existe uma coerência entre os conceitos a serem mobilizados na atividade por meio das situações-problemas propostas?</b></i>	Problema 01				
	Problema 02				
	Problema 03				
	Problema 04				
	Problema 05				
	Problema 06				
	Problema 07				

<p><b>B3. Contextualização de Problema:</b> Com este critério pretende-se avaliar se a situação-problema é acompanhada de uma contextualização que permite um melhor entendimento e compreensão do problema a ser resolvido. <i>A situação-problema é contextualizada, permitindo uma melhor compreensão sobre o fenômeno a ser investigado?</i></p>	Problema 01					
	Problema 02					
	Problema 03					
	Problema 04					
	Problema 05					
	Problema 06					
	Problema 07					
<p><b>B4. O problema e sua resolução:</b> Espera-se que se chegue na sua resolução no decorrer do desenvolvimento das atividades. Dessa forma se faz necessário avaliar a possibilidade de resolução sem que o professor os direcione, e se cansem. <i>Há possibilidade de resolução por parte dos alunos?</i></p>	Problema 01					
	Problema 02					
	Problema 03					
	Problema 04					
	Problema 05					
	Problema 06					
	Problema 07					
<b>C – CONTEÚDOS E CONCEITOS</b>						
<p>A aprendizagem em Física não se limita apenas a compreensão de conceitos, mas articula-se aos domínios processuais e atitudinais da ciência, para que se alcancem os objetivos educacionais propostos, englobando inúmeras competências atribuídas aos alunos.</p>						
<p>Atribuir um valor de suficiência sendo: 1 (Discordo totalmente); 2 (Discordo); 3 (Indiferente); 4 (Concordo); 5 (Concordo totalmente).</p>	1	2	3	4	5	
<p><b>C1. Objetivos:</b> Os objetivos estabelecem as intenções educativas a qual certa proposta de ensino se determina. <i>Os objetivos são claramente informados e se vinculam com as situações-problema?</i></p>						



<p><b>C2. Conhecimentos Conceituais, Procedimentais e Atitudinais:</b> Diferenciar conceitos de aprendizagem segundo uma determinada tipologia contribui para identificar com maior precisão as intenções educativas, pois essa intenção se reflete na relação de importância que se atribui a cada um dos conteúdos. <b><i>As atividades e conteúdos propostos possibilitam que conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais sejam desenvolvidos ao longo da SEI?</i></b></p>					
<p><b>C3. Tema, Fenômeno, Conceitos:</b> Pretende-se avaliar aqui se os conceitos desenvolvidos pela SEI fornecem elementos para a discussão do fenômeno proposto segundo o tema de ensino. <b><i>Os conceitos que perpassam as atividades da SEI são pertinentes para o estudo do tema central da intervenção?</i></b></p>					
<b>D – CARACTERÍSTICA DA ABORDAGEM DE ENSINO</b>					
<p>O ensino por investigação é uma abordagem que está atrelada a uma concepção de educação democrática e de ciência como empreendimento público que busca aproximar a aprendizagem em ciências das práticas, normas e linguagem da ciência por meio de atividades problematizadoras que buscam o desenvolvimento da autonomia discente e os insere em outro modo de pensar: que é o modo de pensar da ciência (Silva Junior; Coelho, 2020)</p>					
<p>Atribuir um valor de suficiência sendo: 1 (Discordo totalmente); 2 (Discordo); 3 (Indiferente); 4 (Concordo); 5 (Concordo totalmente).</p>	1	2	3	4	5
<p><b>D1. Ambiente democrático:</b> Pretende-se avaliar aqui se as atividades desenvolvidas no decorrer da SEI promove um ambiente de diálogo (Aluno/aluno e aluno/professor), valorizando a autonomia e a participação ativa dos estudantes, permitindo múltiplas interpretação que desencadeia debates. <b><i>As atividades propostas são potencialmente promotoras de um ambiente democrático?</i></b></p>					
<p><b>D2. Envolvimento intelectual do aluno:</b> O processo de aprendizagem não pode ter como centralidade o professor e seu discurso unilateral, é necessário que em todo o processo valorize a autonomia e participação do aluno e que a autoridade epistêmica seja compartilhada na sala de aula. <b><i>As atividades possuem potencial para viabiliza uma atitude questionadora e reflexiva, permitindo que os alunos sejam protagonistas em seu processo de aprendizagem?</i></b></p>					

<p><b>D3. Interação social:</b> As atividades devem promover interações e diálogos que permitem uma aprendizagem baseada na troca de experiências e no debate. <b>As atividades propostas potencialmente podem estabelecer o diálogo e argumentação na sala de aula?</b></p>					
<p><b>D4. Aplicar e avaliar teorias científicas:</b> A apropriação dessa teoria científica se viabiliza quando esse conhecimento é utilizado na resolução de um problema estabelecidos em um processo investigativo. <b>As situações-problema permitem aplicar e avaliar teorias científicas?</b></p>					
<p><b>D5. Sistematização:</b> É o momento que se promove um diálogo permitindo aos alunos exporem o que fizeram para chegarem a resolução do problema. Nessa etapa com a mediação do professor se faz a sistematização dos conceitos trabalhados durante a atividade. <b>As atividades propostas preveem o momento de sistematização?</b></p>					
<b>E – AVALIAÇÃO</b>					
<p>Quando se trabalha em sala de aula uma abordagem que foge do modelo tradicional de ensino, a forma de avaliar precisa estar de acordo com o processo de ensino-aprendizagem em que os alunos são inseridos. Dessa forma é necessário avaliar o método de avaliação utilizado na SEI.</p>					
<p>Atribuir um valor de suficiência sendo: 1 (Discordo totalmente); 2 (Discordo); 3 (Indiferente); 4 (Concordo); 5 (Concordo totalmente).</p>	1	2	3	4	5
<p><b>E1. Métodos de avaliação:</b> Os métodos de avaliação devem ser condizentes com os objetivos e conteúdo (conceituais procedimentais e atitudinais) propostos. Então o que se avalia deve se relacionar diretamente com o que se pretende ensinar. <b>O(s) instrumento(s) de avaliação propostos são adequados e suficientes às metodologias e objetivos apresentados?</b></p>					
<p><b>E2. Avaliação integradora:</b> Deve-se verificar também se a avaliação é integrada ao longo da SEI ou apresentada no final. <b>A SEI apresenta uma perspectiva de avaliação processual?</b></p>					
<p><b>E3. Feedback de Avaliação:</b> Quando a avaliação possui objetivo formativo os resultados desta avaliação servem de informação para compreender os avanços alcançados, as dificuldades enfrentadas pelos alunos e estabelecer as atitudes a serem tomadas. <b>Existem instrumentos ou estratégias de feedback para que os alunos compreendam o seu percurso formativo ao longo da SEI?</b></p>					

## APÊNDICE C

INSTRUMENTO DE ANÁLISE, AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS SEQUÊNCIAS DE ENSINO INVESTIGATIVO					
Tema da SEI:					
Data: / /					
Nome do aluno avaliador:					
Série:					
Escola do aluno:					
Atribuir um valor de suficiência sendo: 1 (Discordo totalmente); 2 (Discordo); 3 (Indiferente); 4 (Concordo); 5 (Concordo totalmente).	1	2	3	4	5
<b>01. Tema:</b> Neste tópico deve-se avaliar o tema a ser abordado nas aulas, sua originalidade e se o mesmo desperta o interesse. <b>O tema desenvolvido na sequência desperta o interesse em participar das aulas?</b>					
Observação:					
<b>02. Clareza e compreensão:</b> As atividades precisam possuir uma redação clara e direta, contendo todas as explicações necessárias para seu desenvolvimento. Deve-se considerar se, conforme redigida, as explicações são suficientes para um entendimento do que é para realizar. <b>As atividades são claras e compreensíveis?</b>	Atividade 01				
	Atividade 02				
	Atividade 03				
	Atividade 04				
	Atividade 05				
	Atividade 06				
	Atividade 07				
Observação:					
<b>03. Método de avaliação:</b> O método de avaliação deve ser condizente com os objetivos e conteúdos propostos, e informado com clareza antes do início das atividades. <b>O método de avaliação está explicado com clareza e é satisfatório?</b>					
Observação:					

## APÊNDICE D



Universidade Federal do Espírito Santo  
Centro de Ciências Exatas

**Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional**

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado (a) para participar, como voluntário (a), do Processo de validação a priori da sequência de ensino investigativo titulada **“UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA NO ENSINO DE GRAVITAÇÃO AO BURACO NEGRO”**. Após receber os esclarecimentos e as informações, a seguir, no caso de aceitar fazer parte do processo, assine ao final deste documento. Em caso de dúvida sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com qualquer um dos responsáveis: prof<sup>o</sup> José Izaias Moreira Scherrer Neto; e-mail: netoscherrer@hotmail.com, com o orientador da pesquisa prof<sup>o</sup>. Dr Flávio Gimenes Alvarenga (UFES); e-mail: flavio.alvarenga@ufes.br e com o coorientador prof<sup>o</sup> Dr. Geide Rosa Coelho (UFES); e-mail: geidecoelho@gmail.com.

Nesse trabalho, buscaremos a validação, a priori, da sequência de ensino investigativo, elaborada para o estudo da Gravidade. A coleta de dados será feita com o preenchimento do instrumento de análise, avaliação e validação de sequências de ensino por investigação, através do Google Forms. Os dados serão utilizados e analisados, unicamente, com o intuito desta pesquisa, não havendo qualquer repasse a terceiros.

Aclaremos, ainda, que, ao participar dessa pesquisa, o voluntário não receberá nenhum tipo de pagamento ou gratificação financeira. Garantimos total sigilo que assegura a sua privacidade, quanto aos dados confidenciais coletados para a pesquisa.

### CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO SUJEITO DA PESQUISA

Eu, \_\_\_\_\_, série: \_\_\_\_\_, da escola: \_\_\_\_\_, declaro que fui informado e esclarecido sobre o presente documento, entendendo todos os termos acima expostos e que, voluntariamente, aceito participar desta pesquisa. Estou ciente dos procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios, caso existam, decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso interromper minha participação e retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data \_\_\_\_\_, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2020.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do participante

\_\_\_\_\_  
Assinatura do responsável



Universidade Federal do Espírito Santo  
Centro de Ciências Exatas

**Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional**

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Você está sendo convidado (a) para participar, como voluntário (a), do Processo de validação a priori da sequência de ensino investigativo titulada “**UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA NO ENSINO DE GRAVITAÇÃO AO BURACO NEGRO**”. Após receber os esclarecimentos e as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do processo, assine ao final deste documento. Em caso de dúvida sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com qualquer um dos responsáveis: prof<sup>o</sup> José Izaias Moreira Scherrer Neto; e-mail: netoscherrer@hotmail.com, com o orientador da pesquisa prof<sup>o</sup>. Dr Flávio Gimenes Alvarenga (UFES); e-mail: flavio.alvarenga@ufes.br e com o coorientador prof<sup>o</sup> Dr. Geide Rosa Coelho (UFES); e-mail: geidecoelho@gmail.com.

Nesse trabalho, buscaremos a validação a priori da sequência de ensino investigativo elaborada para o estudo da Gravidade nas 1<sup>a</sup> séries do ensino básico. A coleta de dados será feita em duas etapas, sendo a primeira com o preenchimento do instrumento de análise, avaliação e validação de sequências de ensino por investigação, através do Google Forms e a segunda, no debate remoto realizado com os participantes através do Meet, que será marcada posteriormente, onde poderá ser gravado em vídeo e/ou áudio. Os dados serão utilizados e analisados unicamente com intuito desta pesquisa, não havendo qualquer repasse a terceiros.

Aclaremos ainda que ao participar dessa pesquisa o voluntário não haverá nenhum tipo de pagamento ou gratificação financeira. Garantimos total sigilo que assegura a sua privacidade quanto aos dados confidenciais coletados para a pesquisa.

**CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO SUJEITO DA PESQUISA**

Eu, \_\_\_\_\_, declaro que fui informado e esclarecido sobre o presente documento, entendendo todos os termos acima expostos, e que voluntariamente aceito participar desta pesquisa. Estou ciente dos procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios, caso existam, decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso interromper minha participação e retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade. Local e data \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20 20.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do participante