



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I- CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM FÍSICA**

**ANA VITÓRIA DIAS SOARES**

**BURACOS NEGROS NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA DIDÁTICA  
UTILIZANDO O SIMULADOR SOLAR SMASH**

**CAMPINA GRANDE  
2024**

ANA VITÓRIA DIAS SOARES

**BURACOS NEGROS NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA DIDÁTICA  
UTILIZANDO O SIMULADOR SOLAR SMASH**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado à Coordenação do departamento do Curso de Licenciatura Plena em Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

**Orientador:** Profa. Dra. Ruth Brito de Figueiredo Melo.

**CAMPINA GRANDE  
2024**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S676b Soares, Ana Vitoria Dias.  
Buracos negros no ensino médio [manuscrito] : uma proposta didática utilizando o simulador Solar Smash / Ana Vitoria Dias Soares. - 2024.  
26 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2024.

"Orientação : Profa. Dra. Ruth Brito de Figueiredo Melo, Departamento de Física - CCT. "

1. Tecnologias da informação e comunicação. 2. Física. 3. Buracos Negros. I. Título

21. ed. CDD 530

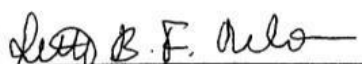
ANA VITÓRIA DIAS SOARES

BURACOS NEGROS NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA DIDÁTICA  
UTILIZANDO O SIMULADOR SOLAR SMASH

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado à Coordenação do departamento do Curso de Licenciatura Plena em Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

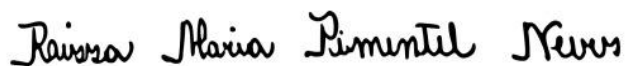
Aprovada em: 14/06/2024.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Profa. Dra. Ruth Brito de Figueiredo Melo (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Profa. Dra. Raissa Maria Pimentel Neves (Examinadora)  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)



---

Prof. Dr. Jean Paulo Spinelly da Silva (Examinador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha mãe, pelo o apoio ao longo da  
graduação e esforço pela família,  
DEDICO.

“As manhãs virão novamente, porque nenhuma escuridão, nenhuma estação, pode durar para sempre.” **Spring day, BTS**

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>AS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>BURACOS NEGROS</b> .....	<b>12</b>
	3.1 Teoria da Relatividade Geral.....	13
	3.2 Buraco Negro de Schwarzschild.....	15
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE BURACOS NEGROS</b>	<b>17</b>
	5.1 Solar Smash.....	17
	5.2 Proposta Didática.....	18
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>22</b>
	.	
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>22</b>

## **BURACOS NEGROS NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA DIDÁTICA UTILIZANDO O SIMULADOR SOLAR SMASH**

### **BLACK HOLES IN HIGH SCHOOL: AN EDUCATIONAL PROPOSAL USING THE SOLAR SMASH SIMULATOR**

Ana Vitória Dias Soares<sup>1</sup>

#### **RESUMO**

No contexto contemporâneo, as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) exercem um papel importante na sociedade, permeando diversos aspectos do cotidiano e transformando a maneira como as pessoas interagem e acessam informações. Na esfera educacional, as TICs têm sido crescentemente incorporadas como ferramentas essenciais para enriquecer o processo de ensino-aprendizagem, proporcionando novas perspectivas e oportunidades de interação e aprendizado. Por outro lado, no contexto específico do ensino de componentes curriculares como a Física, surgem desafios significativos. A falta de formação dos professores, a carência de recursos nas escolas e a abordagem tradicional de ensino podem dificultar a motivação e o engajamento dos alunos. Diante desse cenário, este trabalho traz uma proposta didática para abordar o ensino da Física Moderna com foco na temática de buracos negros. Através de aulas dinâmicas e do uso do simulador/jogo Solar Smash, busca-se tornar o ensino mais acessível e envolvente para os estudantes do ensino médio. O objetivo principal é proporcionar um aprendizado significativo, desmistificando conceitos abstratos e aproximando os alunos da Física de maneira inovadora. Além disso, destaca-se a importância do papel do professor na integração eficaz das TICs no processo educativo, bem como a necessidade de apoio institucional para superar desafios relacionados à capacitação e infraestrutura. Por fim, espera-se que este trabalho contribua para um ensino mais interativo, motivador e eficaz, promovendo o desenvolvimento de habilidades e o interesse dos alunos pela ciência, e preparando-os para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo.

**Palavras-Chave:** tecnologias da informação e comunicação; física; buracos negros.

---

<sup>1</sup> Graduanda em Licenciatura em Física pela Universidade Estadual da Paraíba.



## ABSTRACT

In the contemporary context, Information and Communication Technologies (ICTs) play an important role in society, permeating various aspects of daily life and transforming the way people interact and access information. In the educational sphere, ICTs have been increasingly incorporated as essential tools to enrich the teaching-learning process, providing new perspectives and opportunities for interaction and learning. On the other hand, in the specific context of teaching curricular components such as Physics, significant challenges arise. The lack of teacher training, the scarcity of resources in schools, and the traditional approach to teaching can hinder student motivation and engagement. In light of this scenario, this work presents a didactic proposal to address the teaching of Modern Physics with a focus on the theme of black holes. Through dynamic classes and the use of the simulator/game Solar Smash, the aim is to make teaching more accessible and engaging for high school students. The main objective is to provide meaningful learning, demystifying abstract concepts and bringing students closer to Physics in an innovative way. Furthermore, the importance of the teacher's role in effectively integrating ICTs into the educational process is highlighted, as well as the need for institutional support to overcome challenges related to training and infrastructure. Finally, it is hoped that this work will contribute to more interactive, motivating, and effective teaching, promoting the development of skills and interest in science among students, and preparing them to face the challenges of the contemporary world.

**Keywords:** information and communication technologies; physics; black holes.

## 1 INTRODUÇÃO

As tecnologias permeiam o cotidiano das pessoas constantemente, de variadas maneiras, desde suas residências até os ambientes de trabalho, em diversos setores e contextos. Ao longo dos anos, têm surgido cada vez mais inovações tecnológicas. Como resultado, a sociedade precisou adaptar-se, e as novas tecnologias da informação e comunicação (TICs) passaram a desempenhar papéis cada vez mais diversos pelo mundo. No âmbito da educação, ela também tem exercido influência, embora nem todos façam uso dessas ferramentas.

Quando se trata de Física, isso se torna um desafio um pouco maior. Algumas razões incluem a falta de preparo dos professores, a infraestrutura das escolas e o investimento. Muitos docentes enfrentam dificuldades, pois tendem a utilizar aulas expositivas com fórmulas prontas, sem explorar os conteúdos, resultando na falta de motivação para aprender, como afirma Garutti e Ferreira (2015, p.356) "cada vez mais o papel do educador é facilitar o aprendizado e não somente transmiti-lo". Além disso, as aulas experimentais muitas vezes são negligenciadas pelos professores devido à falta de laboratórios e recursos.

Assim, este trabalho apresenta uma abordagem diferente para o ensino e aprendizado de Física. De acordo com Klein et al (2020, p.282), "a utilização dessas ferramentas educacionais tecnológicas possibilita uma nova concepção do conhecimento". Portanto, buscou-se uma abordagem da Física que não é comumente vista nas escolas. Os conteúdos de Física Moderna frequentemente são ignorados no ensino básico, devido à falta de tempo para desenvolvê-los e à abstração de alguns conceitos para alunos do ensino médio. Com isso em mente, o

artigo dispõe de uma proposta didática que introduz o tema de buracos negros de forma cativante, utilizando aulas dinâmicas e o uso de TICs, incluindo um simulador que permite aos alunos observar os fenômenos por trás desses objetos cósmicos.

A metodologia deste artigo delinea detalhadamente o percurso pedagógico e os objetivos das aulas, consistindo em cinco aulas de 40 minutos, projetadas para alunos do ensino médio. Os conteúdos são apresentados em aulas que incluem contextos históricos, imagens ilustrativas e experimentos utilizando o simulador.

Portanto, este trabalho visa propor uma alternativa que torne as aulas de Física mais dinâmicas, utilizando um experimento que não requer necessariamente um laboratório para ser realizado, além de desmistificar conteúdos, que frequentemente são considerados abstratos.

## **2 AS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA**

A tecnologia está presente no dia a dia das pessoas de diversas formas, desde eletrodomésticos até celulares utilizados para diferentes fins. Tecnologia não se classifica apenas como recursos de hardwares e softwares, mas também é um conjunto de técnicas, habilidades e métodos para múltiplos serviços, como a forma que usavam para produzir fogo na era paleolítica, desde então o ser humano avançou cada vez mais nesse sentido. Nesse contexto Garcia (2013, p. 29) afirma:

A tecnologia faz parte de nossa vida em todos os aspectos, por exemplo, comer só é possível graças à tecnologia dos talheres, pratos, geladeira, fogão, micro-ondas etc. E, dessa mesma forma, a tecnologia está presente em todas as atividades da nossa rotina e, para a realização das mesmas, são necessários produtos e equipamentos resultantes de estudos, planejamentos e construções, ou seja, é possível dizer que se trata de tecnologia

Inúmeras áreas podem e fazem uso desses recursos, por sua vez, quando se trata de educação não é diferente, o uso de tais ferramentas se bem efetuado, se torna aliado nas necessidades e atividades, seja qual for o campo implementado. Para Santos et al (2017, p. 210) “será necessário dar um salto na qualidade do ensino, modificando e renovando o fazer pedagógico, buscando mais recursos e facilidades ao acesso à tecnologia e auxiliando novas perspectivas de inclusão social”.

Assim, quando se trata do ensino, recursos como esses podem proporcionar melhorias em âmbitos diferentes, proporcionando novas formas de aprender e ensinar. De acordo com Garutti e Ferreira (2015, p.356):

Incorporar as TIC ao processo pedagógico acaba por propiciar mais oportunidades do que se fossem sob o modelo das aulas tradicionais. Tempos atrás o conhecimento estava, em maior ênfase, dentro da sala de aula, mas hoje, há muito mais conhecimento fora da sala de aula”.

Quando se fala da geração atual, é importante pensar que, assim como a tecnologia avançou e se modificou ao longo dos anos, a maneira como os jovens aprendem é diferente de décadas atrás, aulas expositivas já não são o suficiente. Segundo Garcia (2013, p.26):

A partir de mudanças na forma de ensinar e com a inserção de tecnologias nesse processo de ensino, mudam-se também as formas de aprendizagem. Os alunos sentem-se mais motivados, pois estas diferem de antigamente, quando não existia diálogo entre professor e aluno; hoje há uma troca de informações em sala de aula, na qual o professor não é mais o detentor de todo o conhecimento, de modo que o aluno passa a ser o principal responsável pela construção do seu conhecimento, tendo um papel mais ativo, na busca de soluções das suas necessidades.

Tendo isto em mente, existem atualmente muitas tecnologias de informação e comunicação (TICs) que podem auxiliar no ensino e na aprendizagem, e que abrangem tecnologias que medeiam os processos de comunicação, as quais possuem recursos de hardware e software, bem como de telecomunicações, otimizando o relacionamento entre os usuários.

Portanto, há muitas possibilidades de utilização em sala de aula e podem ser adaptadas da forma que o professor achar melhor se encaixar, como afirma Garutti e Ferreira (2015, p.367): “As diversas possibilidades de uso, na educação, as TIC, propiciam oportunidades para a transformação do ambiente de ensino e aprendizagem, os quais requerem dinâmica, organização, [...]”. Para que isso ocorra é necessário que o educador busque desenvolver seus conhecimentos em relação ao uso de tais tecnologias, já que um dos pontos que dificulta a inserção desses recursos é a maneira como são aplicados. Entender o papel do ser docente na sociedade e na formação de cidadãos consiste em aperfeiçoar e compreender que é necessário mudar conceitos sobre o dever do professor, no qual para Klein (2020, p.288) “[...] na atualidade passa a ser mais um orientador e um mediador das informações disponíveis, para que os alunos saibam usá-las para seu crescimento e aprendizado”.

Porém, ao ensinar física, sabe-se que existem algumas dificuldades, principalmente fazer com que os alunos entendam e se interessem, pois existe uma mistificação criada em torno da física e muitas pessoas pensam na disciplina como algo difícil de entender e aprender, além da falta de conexão que os alunos têm de associar a matéria estudada com o cotidiano vivido. Outro fator é a dificuldade quando se fala em experimentos, a escassez de laboratórios e recursos para os professores realizarem experimentações em sala de aula, além disso, professores apontam a falta de tempo para preparar e promover aulas experimentais e o grande número de alunos torna o desenvolvimento dessas atividades mais difícil (Moreira et al, 2018).

Para superar esses desafios, muitas vezes requer abordagens pedagógicas inovadoras, é pensando nisso que as pesquisas em torno das TICs ganham cada vez mais espaço e sua utilização tem se tornado mais comum pois se apresentam capazes de se adaptar a diferentes formas de ensino. Segundo Cavalcante et al (2018, p.5) “um dos grandes impedimentos para a inserção de novas tecnologias em nossas escolas deve-se, dentre outros fatores, ao alto custo na compra de interfaces de aquisição didáticas”. Com isso, ao longo dos anos foram desenvolvidos equipamentos de baixo custo e, no que diz respeito à Física, podem demonstrar e aplicar diversos experimentos para visualização de fenômenos físicos, com isso não se limita a aulas expositivas.

A utilização das TICs no ensino de física, tem se revelado cada vez mais relevante e eficaz. Simulações virtuais, plataformas educacionais e aplicativos interativos estão sendo amplamente empregados, para tornar os conceitos físicos mais acessíveis e envolventes aos alunos. Essas ferramentas, proporcionam abordagens mais dinâmicas e práticas, permitindo que os estudantes visualizem

fenômenos complexos, realizem tanto experimentos virtuais quanto físicos em sala de aula, além de explorar conceitos teóricos de forma mais concreta. Nesse sentido, Godinho (2021, p. 5) comenta que:

Nesse sentido, o uso das ferramentas tecnológicas na educação deve ser visto sob a ótica de uma nova metodologia de ensino, possibilitando a interação digital dos alunos com os conteúdos, isto é, o aluno passa a interagir com diversas ferramentas que o possibilitam a utilizar os seus esquemas mentais a partir do uso racional e mediado da informação.

A integração das Tecnologias no ensino de física facilita o ensino-aprendizagem, atendendo às diferentes necessidades de conhecimento dos alunos, promovendo, assim, uma educação mais inclusiva e eficiente. Para Cavalcante et al (2018, p.2) “dessa maneira, entende-se que, como o uso de tecnologias digitais já faz parte do dia a dia dos alunos, torna-se pertinente que a escola conheça o cotidiano dos estudantes e se utilize dos recursos digitais como aliados no processo de ensino e de aprendizagem”.

Do ponto de vista do professor, a implementação das tecnologias no ensino de física pode enfrentar algumas dificuldades e desafios. Primeiro, muitos professores podem não estar familiarizados ou não ter experiência com as ferramentas tecnológicas disponíveis, o que pode criar insegurança e resistência à sua adoção. Além disso, a integração eficaz requer tempo e esforço para pesquisa, seleção e adaptação de recursos adequados ao currículo e aos objetivos de aprendizagem. Baseado nesses pressupostos, Godinho, (2021, p. 9) comenta:

Desta forma, a escola juntamente com os professores deve buscar cursos de especialização para estarem utilizados com relação às novas tecnologias, e com relação a sua disciplina para melhor aplicar os conceitos ao dia a dia do aluno, proporcionando um melhor ensino aprendido juntamente com as novas tecnologias que são utilizadas constantemente pelos estudantes e que futuramente irá auxiliá-los no mercado de trabalho.

Para uma implementação bem-sucedida das tecnologias no ensino de física é necessário um compromisso significativo tanto por parte dos professores como da escola e dos administradores, bem como a superação de desafios relacionados à capacitação, infraestrutura e integração eficaz no currículo escolar.

Além dos desafios relacionados à formação e infraestrutura, a seleção e desenvolvimento de recursos educacionais digitais também são fundamentais para a integração bem sucedida das TICs no ensino de física. Conforme destacado por Barroqueiro e Amaral (2011, p.129) “Os sistemas de educação e formação, precisam olhar com mais carinho as tecnologias intelectuais, pois elas impulsionarão cada vez mais o desenvolvimento sustentável da economia, as transformações políticas e os saberes da sociedade”.

Portanto, é crucial que os recursos educacionais digitais sejam selecionados cuidadosamente e desenvolvidos para atender às necessidades específicas do currículo e dos objetivos se tratando da aprendizagem em física. Ao abordar esses desafios de forma abrangente e colaborativa, as escolas podem maximizar os benefícios das tecnologias no ensino de física, oferecendo experiências de aprendizado mais envolventes e eficazes para os alunos.

A aplicação de tecnologia nas aulas de física tem um papel de importância no processo de ensino aprendizagem dos estudantes, proporcionando uma série de benefícios significativos. Conforme destacado por Barroqueiro e Amaral (2011) os

resultados obtidos através de uma análise, foram discutidos e interpretados de forma positiva, onde foi possível identificar nas respostas a importância da inclusão das TICs no ensino aprendizagem, no que diz respeito a agregação de valores as aulas tradicionais de Física, além da contribuição para uma melhor qualidade das aulas e como motivação.

Nesse sentido, pode-se observar que as tecnologias educacionais disponibilizam recursos interativos e experiências práticas que permitem aos alunos explorar conceitos físicos de maneira mais concreta e visual. Essa abordagem ajuda a tornar os conceitos abstratos mais acessíveis e compreensíveis, facilitando o desenvolvimento de uma compreensão mais profunda e duradoura. Além disso, Bulmini, (2019, p.15) menciona que:

As TIC no Ensino de Física podem ampliar a interação existente entre o aprendiz, o conhecimento, o aluno e o professor. Estes recursos devem minimizar as dificuldades existentes nos conteúdos expostos e maximizar o conhecimento, despertando a autoconfiança, o entendimento significativo e de qualidade, para assim, surgirem conexões plausíveis de compreensão da Física.

Logo, as TICs oferecem oportunidades para um melhor aprendizado, permitindo que os alunos progredam em seu próprio ritmo e explorem áreas de interesse específicas. Plataformas online, simulações virtuais e aplicativos educacionais podem ser adaptados para atender às necessidades individuais dos alunos, fornecendo feedback imediato e recursos adicionais para apoio ao aprendizado.

Outro benefício importante da integração de tecnologia, é o aumento do engajamento dos alunos. Atividades interativas, experimentos simples e jogos educacionais podem tornar o processo de aprendizado mais divertido e interessante, motivando os alunos a participarem ativamente das aulas e a explorarem os conceitos físicos de forma mais criativa. Nesse sentido Santos et al (2017, p. 214-215) expõe que:

Existe uma grande variedade de aplicativos e recursos disponíveis para celulares aplicáveis à educação, que devem ser aproveitados por professores a fim de proporcionar aos alunos novas formas de aprender. Uma aprendizagem mais dinâmica e integradora que provoque a expansão da sala de aula.

Assim, as tecnologias educacionais promovem uma maior colaboração entre os alunos, tendo a comunicação e o compartilhamento de ideias, tanto dentro quanto fora da sala de aula. Promovendo o desenvolvimento de habilidades sociais e colaborativas, ao mesmo tempo em que estimula o pensamento crítico e a resolução de problemas. Em suma, como evidenciado por Bulmini (2019, p.14) “ressalta-se que as TICs se fazem cada vez mais presente no contexto educacional, essa nova perspectiva corrobora e amplia a possibilidade de se desenvolver um trabalho com foco na aprendizagem significativa dos alunos”.

A implementação de tecnologia nas aulas de física é importante para melhorar o processo de ensino aprendizagem, proporcionando experiências de aprendizado mais dinâmicas, instigantes e interessantes. Aproveitando as vantagens das TICs, os docentes podem ajudar os alunos a desenvolverem uma compreensão mais profunda e significativa dos princípios físicos, preparando-os para enfrentar futuros desafios.

### 3 BURACOS NEGROS

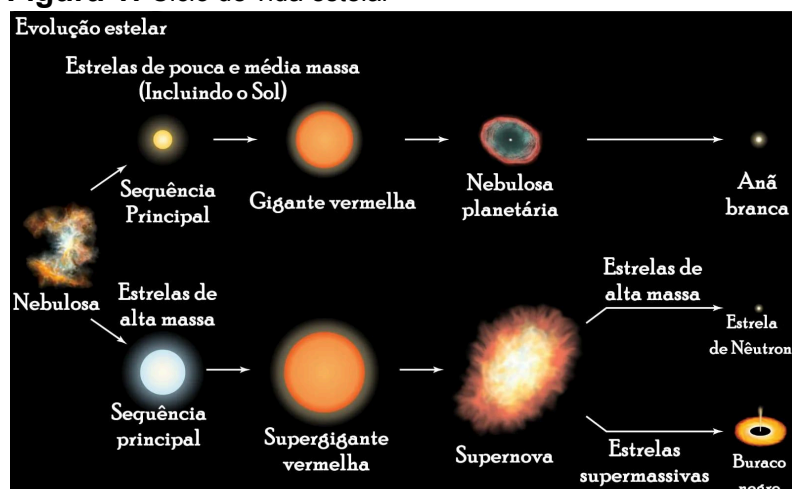
A jornada para compreender os buracos negros começou há mais de dois séculos, quando o geólogo inglês John Michell, em 1783, propôs pela primeira vez a existência desses objetos astronômicos. No entanto, foi somente no século XX que os fundamentos teóricos foram estabelecidos, quando o físico alemão Albert Einstein apresentou a teoria da relatividade geral. No mesmo ano, em 1915, Karl Schwarzschild demonstrou que as equações da relatividade conduziam à possibilidade de singularidade, desencadeando uma busca contínua pela compreensão desse fenômeno cósmico (Floriano, 2021).

O físico John Archibald Wheeler foi denominado o criador do termo "buraco negro" em 1968 durante uma conferência, onde o objetivo era tornar mais fácil de descrever o fenômeno, em vez dos termos técnicos "Singularidade Gravitacional" ou "Objeto Gravitacionalmente Colapsado" que eram usados, mas a verdadeira autora da introdução do termo foi a jornalista, Ann E. Ewing, ela ouviu a expressão *black holes in space* em um congresso no ano de 1964 e o colocou em um artigo de divulgação (Saa, 2016).

No que diz respeito ao que é um buraco negro, supõe-se que desde o início do universo existam tais objetos astronômicos, pois precisam, de forma resumida, de muita massa, pouco combustível para reações nucleares e que a força gravitacional prevaleça sobre outras forças com estas reações. Após o Big Bang o universo passou por algumas fases como a época de Planck, cuja física ainda permanece em aberto, a inflação cósmica e o reaquecimento. As fases de radiação, matéria e energia só tiveram início após o banho térmico das partículas, e foi justamente por volta de 380 mil anos, quando matéria e radiação se desacoplam que as primeiras grandes estruturas do universo começam a se formar, como estrelas, planetas, galáxias e buracos negros (Floriano, 2021).

A partir disso, pode-se começar a entender como eles se formam. Tudo ocorre desde a formação de uma estrela até sua morte, como ilustrado na figura 1:

**Figura 1:** Ciclo de vida estelar



Fonte: (Estrelas- Desmistificando a astronomia)

Segundo Floriano (2021, p. 2) "normalmente, estrelas se formam em locais no universo com uma grande quantidade de partículas, como nuvens moleculares". Por

causa da força gravitacional no centro da nuvem, e pela região ser densa, estas partículas formam objetos cada vez maiores, o que, por sua vez, atrai mais partículas, aumentando a força gravitacional. Quando a região fica muito quente, atingindo cerca de 8 milhões de Kelvin, os átomos começam a se chocar uns contra os outros. O calor liberado durante essas colisões faz com que a região brilhe, emitindo luz. Além disso, as reações nucleares geram uma pressão interna que empurra para fora, contrariando a força da gravidade provocada pela massa. É assim que uma estrela surge no espaço.

A morte de uma estrela ocorre quando ela não consegue realizar novas fusões e então seu combustível acaba, como cita Floriano (2021, p.3) “o problema é que essas reações vão formando elementos cada vez mais pesados, até que, num determinado momento, a estrela não consegue realizar novas fusões”, após isso, dependendo da massa da estrela, ela terá três possibilidades de destino. A primeira possibilidade é uma anã branca, quando a estrela tem entre 0,45M e 8M (massas solares). Para massas entre 8M e 25M, ela se torna uma estrela de nêutrons, e por fim, para massas acima de 25M, se torna um buraco negro. O que acontece nesta terceira possibilidade é que a estrela entra em colapso, ocorrendo a queda de sua massa no seu centro, assim a velocidade de escape é superior a velocidade da luz, segundo Floriano (2021, p.3):

Ela é uma estrela morta que, de tão pesada e densa, a gravidade torna-se forte a ponto de nenhuma luz ser capaz de escapar. Nada que passar o limite que chamamos de horizonte de eventos consegue voltar. E no centro deste objeto há um ponto no espaço que chamamos de singularidade.

Assim, como existem os tipos de estrelas, também há classificações de buracos negros, que ocorre de acordo com sua massa. Existem quatro classificações, de acordo com (Floriano, 2021) são:

1. Microburacos negros: são chamados de buracos negros primordiais também, são teóricos e seu surgimento teria se dado após o big bang.
2. Buracos negros estelares: originais de supernovas, ocorre quando a estrela explode e o que resta da explosão passa de 3 massas solares, assim, ocorre um novo colapso e origina um buraco negro.
3. Buracos negros de massa intermediária: tem massa maior que um milhão de vezes a massa do sol.
4. Buraco negro supermassivo: tem milhões a bilhões de massas solares, se encontram no centro das galáxias.

### **3.1 Teoria da Relatividade Geral (TRG)**

A teoria da relatividade geral foi desenvolvida pelo físico alemão Albert Einstein, seus estudos nesta teoria começaram por volta de 1907 e a publicação veio no ano de 1915. Ele propôs que a gravidade não era apenas uma força entre objetos massivos, como acreditava a física newtoniana, mas sim consequência da curvatura do espaço-tempo causada pela presença de massa e energia.

Sua teoria unificou o espaço e o tempo em uma única entidade chamada espaço-tempo, como cita Crawford (1995, p.11) “a proposta revolucionária de Einstein, tal como se explicou acima, foi identificar a gravidade com o desvio em relação à geometria euclidiana, ou seja, com a curvatura do espaço”. De maneira simplificada na TRG normalmente o espaço-tempo é curvo, tendo caráter dinâmico,

permitindo descrever uma conduta das partículas materiais e da luz na existência de uma determinada distribuição de matéria. Quando pensamos na curvatura do espaço-tempo, seu papel nesta teoria é parecido com o da força gravitacional na teoria de Newton. Ela cria uma forma dinâmica de interação com a matéria, moldando o tecido do universo conforme os corpos celestes se movem.

Enquanto escrevia sobre sua teoria da relatividade restrita em 1907, Einstein começou os estudos quanto à forma que poderia modificar a teoria newtoniana da gravitação, com o propósito de relacionar com a nova teoria. Ao longo dos anos ele continuou a desenvolver a mesma e recebeu ajuda de Marcel Grossmann, que em conjunto desenvolveu a geometria newtoniana. Apesar disso, Einstein construiu sua teoria final sozinho, publicando em 1915 (Crawford, 1995).

Com os anos se passando a TRG foi ganhando força e em maio de 1919 ocorreu o eclipse solar que finalmente comprovaria a teoria, conforme mencionado por Soga et al (2019, p.4) “o fenômeno foi devidamente registrado, e os valores determinados dos desvios de posição das estrelas foram a primeira grande comprovação experimental da Teoria da Relatividade Geral de Einstein”, assim, as previsões do físico se confirmaram. A partir disso, cada vez mais sua teoria se tornava popular e Einstein era reconhecido como gênio, porém, uma parte da comunidade científica começou a ter opiniões contrárias e colocaram sua teoria como inútil. Apesar disso, a maior parte dos físicos da época diziam que a teoria era um grande marco.

Após ter sido considerada uma teoria difícil e que apenas algumas pessoas entendiam, a TRG se tornou popular, isso se deu pelos importantes desenvolvimentos teóricos na década de 60, além de observações astronômicas. Logo, ocorreu o renascimento da TRG.

Um dos objetos que tem relação com a teoria, são os buracos negros, por muitos tempo foram mal compreendidos, então, em 1993 como cita Crawford (1995, p.18):

J. R. Oppenheimer e H. Snyder calcularam o colapso de um fluido esfericamente simétrico e sem pressão usando as equações de Einstein da relatividade geral. Mostraram que não há nada nas equações de Einstein que possa evitar o colapso e a formação do buraco negro associado.

Contudo, mesmo com estes resultados, o conceito de buraco negro foi deixado de lado até a descoberta dos quasares. Um dos fatos que contribuíram para retomar os estudos destes objetos foi a descoberta de uma solução das equações de Einstein, em 1963 por Roy. P. Kerr. A solução de Kerr é a única para um buraco negro em rotação e a solução de Schwarzschild é um caso particular da solução de Kerr quando não tem rotação, Crawford (1995, p.18).

Com o prêmio Nobel pela descoberta do pulsar binário PSR 1913 +16, por Joseph Taylor e Russel Hulse em 1993, tem-se sinal de aprovação da TRG. Logo, a teoria de Einstein que por muitas vezes foi posta como difícil e inútil, revolucionou a física e virou instrumento teórico de estudos.

As equações de Einstein relacionadas a TRG são conhecidas também como equações de campo, as mesmas são fundamentais para entender a gravidade e geometria do universo. Elas descrevem a interação entre matéria, energia e a geometria do espaço-tempo. Estas equações são expressas, segundo os autores (Hobson, 2006; D’Inverno; 1992 e Carroll, 1997) da seguinte forma:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}, \quad (1)$$



Onde,  $g_{\mu\nu}$  é o tensor métrico.

Nessas equações, as quantidades  $R_{\mu\nu}$  e  $R$ , conhecidas como o tensor e escalar de Ricci, são dadas, respectivamente, por:

$$R_{\mu\nu} = \frac{\partial \Gamma_{\mu\nu}^{\rho}}{\partial x^{\rho}} - \frac{\partial \Gamma_{\mu\rho}^{\nu}}{\partial x^{\rho}} + \Gamma_{\mu\nu}^{\sigma} \Gamma_{\rho\sigma}^{\rho} - \Gamma_{\mu\rho}^{\sigma} \Gamma_{\nu\sigma}^{\rho}, \quad (2)$$

e

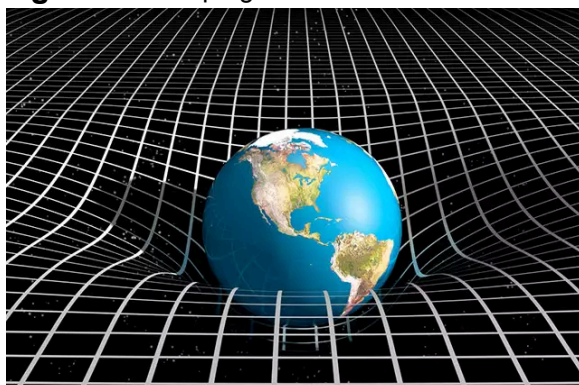
$$R = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu}. \quad (3)$$

O tensor e o escalar de Ricci nas equações de Einstein descreve como a matéria e a energia influenciam a curvatura do espaço-tempo.

### 3.2 Buraco negro de Schwarzschild

Karl Schwarzschild foi o físico alemão responsável pela solução da equação de Einstein, que ficou conhecida como a solução de Schwarzschild, ela corresponde ao campo gravitacional de uma massa esfericamente simétrica, este campo pode ser representado como na figura 2.

**Figura 2:** Campo gravitacional.



Fonte: (Duque, 2014)

Conforme cita Lobo (2006, p.2) “a solução de Schwarzschild descreve o espaço-tempo ao redor de um centro de atração esfericamente simétrico e sem rotação”.

O elemento de linha na solução de Schwarzschild descreve a métrica do espaço-tempo ao redor de um objeto esférico e não rotativo, como um buraco negro, logo, ele representa como o espaço-tempo é curvado pela presença de uma massa. A expressão é dada desta forma, segundo (Hobson, 2006):

$$ds^2 = c^2 \left( 1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right) dt^2 - \left( 1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right)^{-1} dr^2 - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\phi^2, \quad (4)$$

Além disso, temos o raio de Schwarzschild que é a distância a partir do centro de um objeto massivo, ele é representado desta maneira:

$$r_s = \frac{2GM}{c^2}, \text{ (singularidade coordena)} \quad (5)$$

Outro Horizonte de eventos é:

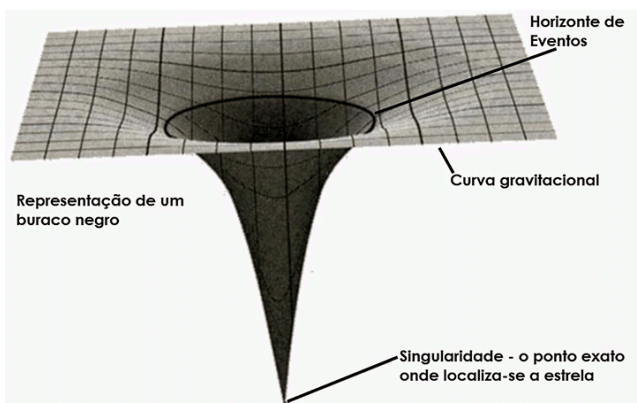
$$r_s = 0, \text{ (singularidade Física)} \quad (6)$$

Na época o resultado de Schwarzschild foi comunicado por Einstein e passou a ser reconhecido e citado, sendo citado nos artigos publicados por Einstein quanto à teoria da relatividade geral, (Saa, 2016, p.7).

Quando se trata da solução de Schwarzschild, não é possível confirmar a singularidade em uma área espacial infinitesimalmente pequena, no entanto o raio de Schwarzschild é de mais ou menos 3 km, logo, o raio é muito pequeno se comparado a corpos astrofísicos, Saa (2016, p.8). Para compreender o que ocorre na singularidade ( $r = r_s$ ), seria preciso investigar a fundo a formação e detalhes internos dos corpos esféricos homogêneos que geram os campos gravitacionais envolvidos. Oppenheimer e seus colaboradores contribuíram para o entendimento da singularidade, tais estudos serviram para a compreensão do colapso gravitacional moderno, conforme Saa (2016, p.8) “a ideia é que determinadas configurações fisicamente razoáveis de matéria auto-gravitante poderiam colapsar, implodir devido a própria atração ao gravitacional”.

Inicialmente, o conceito de buraco negro como um objeto frio e negro, onde não emite radiação, não foi bem aceito, até mesmo pelo próprio Einstein, que argumentou quanto ao colapso gravitacional que não acabaria na exposição do raio de Schwarzschild, ou seja, na formação de buracos negros. Nesta época não levaram adiante a possibilidade de existir tais objetos e isso perdurou por mais de uma década. Então, ao final dos anos 50, David Finkelstein dá um ponto final ao impasse quanto à possível realização física do raio de Schwarzschild. Assim, foi possível interpretar de maneira efetiva a esfera de raio  $r = r_s$ , como cita Saa (2016, p.10) “quer dizer, a esfera de raio ( $r_s$ ) funciona como uma espécie de fronteira entre duas regiões, sendo a região externa completamente desconectada da interior, sem qualquer possibilidade de comunicação de dentro para fora”, logo, surgiu o conceito de “horizonte de eventos”.

Para Falciano (2023, p.9) “o horizonte de eventos é a superfície que delimita o buraco negro, logo é composta por pontos na borda do passado causal do infinito nulo futuro”, ou seja, há um determinado ponto no espaço que não é possível voltar ou enviar informações para fora desse ponto. O horizonte de eventos é uma área que fica em torno do buraco negro, nesta região a gravidade é tão forte que não nem a própria luz é capaz de escapar. Quando um objeto passa pelo horizonte de eventos a única probabilidade final é a singularidade. Pode-se dizer que a singularidade é uma região onde se concentra toda a massa. A partir da Figura 3 e 4, é possível entender melhor a estrutura de um buraco negro:

**Figura 3:** Estrutura básica de um buraco negro

Fonte: (Almeida, 2021)

**Figura 4:** Estrutura vista de cima

Fonte: (Mauler, 2024)

## 4 METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma proposta didática com o uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) através da gamificação, no ensino de conceitos relacionados a buracos negros. Propõe-se uma estratégia didática que visa introduzir de maneira eficaz os conteúdos pertinentes ao tema. As metodologias empregadas envolvem a utilização de aulas expositivas para apresentar os fundamentos teóricos, bem como abordagens práticas por meio do simulador/jogo Solar Smash.

A proposta didática é composta por cinco aulas, com duração de 40 minutos cada, destinadas a turmas do ensino médio. As quatro primeiras aulas têm como objetivo principal preparar os estudantes, fornecendo-lhes uma compreensão básica dos conceitos relacionados a buracos negros, a fim de facilitar a aplicação do simulador e permitir que os alunos observem e compreendam os fenômenos que ocorrem quando um objeto adentra o horizonte de eventos de um buraco negro.

## 5 PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE BURACOS NEGROS

### 5.1 Solar Smash

O Solar Smash é classificado como um jogo, mas, neste trabalho, a proposta é utilizá-lo como um simulador, aproveitando algumas de suas configurações específicas. Dentro das opções disponíveis, o Solar Smash oferece modalidades que permitem aos usuários acessar planetas existentes ou criar novos, personalizando desde sua massa até seu tamanho. Além disso, é possível criar sistemas planetários inteiros ou utilizar sistemas pré-existentes, como o sistema solar. O jogo foi desenvolvido pela Paradyme Games e está disponível para Android e IOS. Sua interface pode ser vista na figura 5:

**Figura 5:** Interface do Solar Smash

Fonte: Elaborada pela autora, 2024

Ao selecionar um sistema ou planeta, o jogo disponibiliza diversas ferramentas para interação. Entre elas, destacam-se os objetos cósmicos, incluindo os buracos negros. Estes podem ser posicionados em qualquer lugar dentro do sistema e, ao serem deixados em determinada posição, o jogo simula os eventos que ocorreriam caso algum objeto ou sistema adentrasse o horizonte de eventos de um buraco negro.

## 5.2 Proposta didática

### Apresentação

Nesta proposta didática, será apresentado o percurso pedagógico para abordar de maneira eficaz o tema dos Buracos Negros para alunos do ensino médio. Diante disso, as quatro primeiras aulas terão caráter teórico e a quinta será prática, utilizando o simulador, incorporando o uso das TICs no ensino de Física. Dessa forma, os alunos poderão compreender e visualizar de maneira mais didática o que estão aprendendo, instigando a curiosidade e promovendo a formação científica.

Duração de Aula	Turma	Tema
1ª aula: 40 minutos	Ensino Médio	O que é um buraco negro?
2ª aula: 40 minutos	Ensino Médio	Teoria da Relatividade Geral (TRG)
3ª aula: 40 minutos	Ensino Médio	Solução de Schwarzschild
4ª aula: 40 minutos	Ensino Médio	Detector/Deteção

Duração de Aula	Turma	Tema
5ª aula: 40 minutos	Ensino Médio	Aplicação do simulador

## Conteúdo

### 1ª Aula

- Introdução histórica;
- Formação de estrelas;
- Conceito de estrela colapsada;
- Formação de um buraco negro;
- Classificação de buracos negros.

### 2ª Aula

- Como surgiu a TRG;
- Princípio da TRG;
- Efeito da gravidade na luz;
- Geometria do espaço-tempo;

### 3ª Aula

- Solução de Schwarzschild;
- Estrutura do buraco negro;
- Horizonte de Eventos.

### 4ª Aula

- Como são detectados os buracos negros;
- Radiação Hawking;
- Imagens de Eventos de Acreção.

### 5ª Aula

- Aplicação do simulador.

## Objetivo Geral

- Espera-se que ao final do conteúdo os estudantes tenham compreendido o que acontece quando um objeto entra no horizonte de eventos de um buraco negro e saibam os conceitos básicos do tema principal: Buracos negros.

## Objetivos Específicos

- Promover o ensino aprendizagem através do uso das TICs;
- Inserir a Física Moderna no ensino médio;
- Aprender conceitos básicos quanto ao tema de buraco negro, como TRG, solução de Schwarzschild, detecção, entre outros;
- Compreender de que forma usar o simulador Solar Smash de maneira que relaciona com os conteúdos estudados.

**Público alvo:** Estudantes do Ensino Médio.

## Material Necessário

- Quadro branco;
- Caneta de quadro;
- Internet;
- Celular;
- Datashow.

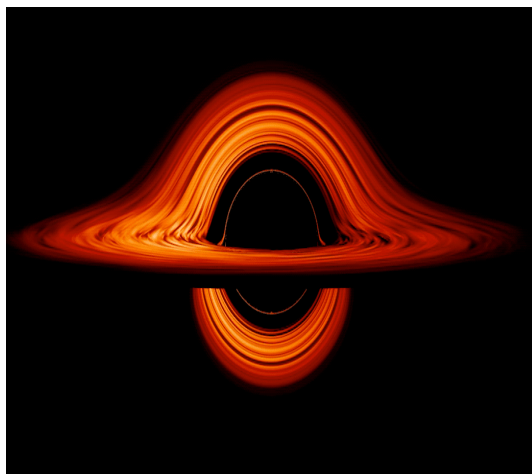
**Número de aulas:** 5 aulas.

## Percurso pedagógico/metodológico

- **1ª Aula** - Para iniciar a aula, o docente irá apresentar o tema que será abordado nas próximas cinco aulas e os objetivos do estudo. Nesta aula, o objetivo será compreender o que é um buraco negro. Para isso, é essencial seguir os tópicos referentes a esta aula e introduzir a parte histórica, o que possibilitará compreender como surgiram os estudos em torno dos buracos negros e como eram conduzidos naquela época. Cada tópico da aula será um percurso, logo, terá: Formação de estrelas, discutindo como ocorre a formação das estrelas para entender o colapso das mesmas e eventualmente a formação de buracos negros; Conceito de estrela colapsada, explicando o que ocorre quando o combustível de uma estrela acaba e as possibilidades que a estrela tem dependendo de sua massa; Formação de um buraco negro, a partir do conceito anterior, explicando de quais maneiras um buraco negro pode ser formado, como por exemplo, as fusões de estrelas de nêutrons; Classificação de buracos negros, enfatizando suas diferentes formas de surgimento.
- **2ª Aula** - Antes de iniciar um novo conteúdo, é importante relembrar brevemente o que foi abordado na aula anterior. Após isso, a aula dará início, e o professor fará uma breve introdução histórica sobre como surgiu a Teoria da Relatividade Geral. Na sequência, o princípio da relatividade será abordado de maneira sucinta. Cada tópico da aula será um percurso pedagógico. Assim, os próximos tópicos da 2ª aula serão: o efeito da gravidade na luz, explicando como a gravidade curva a trajetória da luz; Geometria do espaço-tempo, falando sobre a ideia de que o espaço e o tempo estão interligados, formando o espaço-tempo, onde a gravidade é causada pela curvatura deste espaço-tempo por objetos massivos. Durante os percursos, é importante permitir que os alunos façam perguntas e também fazer perguntas para eles, guiando a aula por meio disso, de modo a instigá-los e despertar sua curiosidade sobre o tema.
- **3ª Aula** - Relembrando brevemente a aula anterior, podemos avançar para a 3ª aula, na qual será abordada a ideia da origem da solução e o conceito da solução de *Schwarzschild*, um tópico importante para esta aula é o Horizonte de Eventos: explicar o que é e o que acontece. Para entender o Diagrama do buraco negro, é interessante percorrer um pouco sobre a parte teórica para se aprofundar na 4ª aula, que incluirá imagens.
- **4ª Aula** - Na 4ª aula, encerraremos o conteúdo programado e a parte teórica do tema. Para iniciar a aula, será apresentado aos alunos como os buracos negros são detectados. Em seguida, o docente discutirá sobre o disco de gás que orbita em torno do buraco negro e sua composição, além de abordar os observatórios terrestres que podem detectar esses objetos. Também é importante explicar sobre a radiação Hawking, sua origem, definição e apresentar Stephen Hawking caso os alunos não estejam familiarizados com ele. Para finalizar, a imagem de Eventos de Acreção e uma imagem recriada de um buraco negro serão incluídas, permitindo que os estudantes visualizem

o que aprenderam. Ao mostrar as imagens (Figuras 6 e 7), deve-se explicar como foram feitas e o que representam:

**Figura 6:** Disco de acreção



Fonte: (Reddy, 2019)

**Figura 7:** Buraco negro M87



Fonte: (Sandberg, 2023)

- **5ª Aula** - Para utilizar o simulador Solar Smash, os alunos serão divididos em grupos de 4 pessoas. Eles receberão um roteiro detalhado explicando passo a passo como utilizar o simulador, juntamente com perguntas relacionadas ao que observarem, conectando essas observações com o conteúdo estudado em sala de aula. Num primeiro momento, o professor atuará como mediador, orientando os alunos através do roteiro. Os estudantes responderão às questões de acordo com o conhecimento adquirido durante as aulas. Somente após a conclusão da atividade, o professor explicará, com base em seu conhecimento, o que está ocorrendo na simulação.

#### Roteiro:

**1º Passo** - Instalar o jogo Solar Smash em um aparelho celular.

**2º Passo** - Abrir o jogo e em seguida clicar no botão "JOGAR".

**3º Passo** - Selecione a opção "Sistema Solar", fazendo isso, clique em "Sol System".

**4º Passo** - Após concluir o 3º passo, clique no ícone espiral e selecione a opção do meio.

**5º Passo** - Agora, escolha o local perto do sol, mas não necessariamente colado a ele para colocar o buraco negro e observe o que acontece até o final.

**6º Passo** - Após observar o evento até o final, responda às seguintes questões.

#### Questões:

1º) O que aconteceu nos primeiros segundos que foi colocado o buraco negro?

2º) De acordo com o seu conhecimento em relação a temática de buraco negro, por que os objetos que estavam perto do buraco negro foram sugados?

3º) O que houve após o sol ser totalmente sugado pelo buraco negro?

4º) Por que alguns planetas não foram sugados pelo buraco negro, mas acabaram sumindo do sistema solar?

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou evidenciar a importância das TICs no ensino de buracos negros. Com isso, acredita-se que os benefícios do uso dessas ferramentas, trazem aulas mais dinâmicas e proporcionando formas diferentes de aprender e ensinar. O uso das tecnologias no processo pedagógico pode proporcionar novas possibilidades de ensino-aprendizagem, principalmente quando se trata de Física, tendo em vista que a nova geração não aprende da mesma maneira de anos atrás.

Sabendo disso, para que haja uma implementação eficaz das TICs, é necessário que o docente reconheça seu papel e desenvolva conhecimentos em relação ao uso das mesmas. Assim, ele pode adaptá-las da melhor maneira para suas aulas, obtendo resultados positivos, onde as tecnologias serão aliadas. Contudo, também é importante que a escola e outros responsáveis pelo ensino dos alunos se comprometam com a superação de desafios relacionados à capacitação, infraestrutura e integração no currículo escolar.

Além disso, quando se trata de Física, sabe-se das dificuldades e da mistificação em torno da disciplina. Nesse sentido, as abordagens pedagógicas têm um papel importante, trazendo maneiras diferentes de ensinar e, em conjunto com as TICs, podem aproximar e quebrar barreiras que os alunos ainda têm quanto à Física, proporcionando diferentes percepções e, como proposto, visualizando fenômenos físicos não apenas presentes em nosso cotidiano, mas também aqueles que não estão ao nosso alcance. Abordando temas importantes, como os da Física Moderna, que muitas vezes são negligenciados no ensino básico, as aulas não se limitam apenas a exposições.

Pensando nisso, este trabalho buscou unir as novas tecnologias e a Física Moderna, trazendo uma proposta didática que aborda o tema de buracos negros. O foco são alunos do ensino médio, assim, o tema foi abordado de maneira introdutória, mas de forma eficaz, onde os estudantes podem entender e aprender sobre o conteúdo, além de visualizarem o que irão aprender ao longo das aulas. Assim, tornando conceitos abstratos mais simples e compreensíveis, desta maneira, engajando os alunos, tornando as aulas mais interativas e proporcionando um aprendizado mais divertido e dinâmico.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Carla Rodrigues. Buracos negros: mais de 100 anos de história. **Cadernos de Astronomia**, v. 2, n. 1, p. 93-93, 2021.

BARROQUEIRO, Carlos Henrique; AMARAL, Luiz Henrique. O uso das tecnologias da informação e da comunicação no processo de ensino-aprendizagem dos alunos nativos digitais nas aulas de física e matemática. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 2, n. 2, p. 123-143, 2011.



BULMINI, Josani Rodrigues dos Santos. Tecnologias de informação e comunicação no Simpósio Nacional do Ensino de Física: uma revisão bibliográfica nas atas do evento. 2019.

CARROL, S. M. **Lecture Notes on General Relativity**. Santa Barbara: University of California, 1997.

CAVALCANTE, Artur Araújo; SALES, Gilvandenys Leite; DA SILVA, João Batista. Tecnologias digitais no Ensino de Física: um relato de experiência utilizando o Kahoot como ferramenta de avaliação gamificada. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 11, p. 7711456, 2018.

CRAWFORD, Paulo. O significado da relatividade no final do século. 1995.

D' INVERNO, R. **Introducing Einstein's Relativity**. New York: Oxford University Press, 1998.

DUQUE, Nathália. Força da gravidade- o que é e teorias. 2014. Disponível em:<https://www.estudokids.com.br/gravidade/>. Acesso em: 17 de maio de 2024.

Estrelas Desmistificando a astronomia disponível em:  
<https://desmistificandoaastronomia.com.br/index.php/estrelas/>. Acesso: 17 de maio de 2024.

FALCIANO, Felipe Tovar. Sobre buracos negros. **Cadernos de Astronomia**, v. 4, n. 1, p. 6-15, 2023.

FLORIANO, Tiago Cardoso. Introdução aos buracos negros. **Revista Brasileira de Física**, v. 1, n. 1.

GARCIA, Fernanda Wolf. A importância do uso das tecnologias no processo de ensino-aprendizagem. **Revista Educação a Distância, Batatais**, v. 3, n. 1, p. 25-48, 2013.

GARUTTI, Selson; FERREIRA, Vera Lúcia. Uso das tecnologias de informação e comunicação na educação. **Revista Cesumar–Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**, v. 20, n. 2, p. 355-372, jul./dez. 2015.

GODINHO, Gabriela Máximo. **O uso de tecnologias no ensino de física**. 2021. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso Licenciatura em Física da Universidade de Uberaba – Uniube, Santa Maria do Suaçuí-MG, 2021.

HOBSON, Michael Paul; EFSTATHIOU, George P.; LASENBY, Anthony N. **General Relativity An Introduction for Physicists**. University Cambridge press, 2006.

KLEIN, Danieli Regina et al. Tecnologia na educação: evolução histórica e aplicação nos diferentes níveis de ensino. **Educere-Revista da Educação da UNIPAR**, Umuarama, v. 20, n. 2, p.279-299, jul./dez. 2020.

LOBO, Matheus Pereira. No interior do horizonte de um buraco negro de Schwarzschild. **Physicae**, v. 6, n. 1, p. 1-5, 2006.

MAULER, Mauro. Estruturas do Universo. 2024. Disponível em: [https://galaxiasdoconhecimento.com.br/\\_htestrut/estruturas-do-universo-13-buracos-negros.html](https://galaxiasdoconhecimento.com.br/_htestrut/estruturas-do-universo-13-buracos-negros.html). Acesso em: 17 de maio de 2024.

MOREIRA, M. M.P.C.; ROMEU, M. C.; ALVES, F.R.V.; SILVA, F.R O. Contribuições do Arduino no ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 721-745, 2018.

REDDY, Francisco. Visualização da NASA mostra o mundo distorcido de um buraco negro.2019. Disponível em: <https://www.nasa.gov/universe/nasa-visualization-shows-a-black-holes-warped-world/>. Acesso em: 8 de maio de 2024.

SAA, Alberto. Cem anos de buracos negros: o centenário da solução de Schwarzschild. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, p. e4201, 2016.

SANDBERG, Lee. Uma visão mais nítida do buraco negro M87.2023. Disponível em: <https://www.ias.edu/news/sharper-look-m87>. Acesso em: 8 de maio de 2024.

SANTOS, Amanda de Oliveira Souza et al. Tecnologias digitais no ensino de física: uso de celular na abordagem de conteúdos programáticos de velocidade. **Revista Eletrônica Debates em Educação Científica e Tecnológica**, v. 7, n. 03, p. 208-228, 2017.

SOGA, Diogo; FAES, Daniel; MURAMATSU, Mikiya. Simulação experimental do eclipse solar de Sobral em 1919: Uma comprovação da Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein. **A Física na Escola**, v. 17, n. 1, p. 4-8, 2019.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Ceuda e Antonio, por todo o apoio nessa caminhada da vida, pelos seus erros e acertos, pois aprendi um pouco da vida pelas duas maneiras e através de ambos.

Aos meus gatos, JK, Branquinho e Nino, que, apesar de não poderem me confortar com palavras, sempre souberam quando eu precisava de carinho.

Ao meu namorado, Ernani, por acreditar e me apoiar, agradeço por compreender que às vezes eu precisava me ausentar um pouco e também pelas refeições que você fez nesses anos, quando eu não tinha tempo nem de fazer um café.

Às minhas queridas amigas, Gabi, por aturar meus surtos desde 2022 e sempre me encorajar, mesmo quando eu não acreditava que seria capaz, e Evelin, que, apesar do pouco tempo, também me encoraja e fala as verdades sem medo. Às duas, agradeço por todo o apoio e amizade, que isso dure até que não estejamos mais aqui.

Aos meus amigos, Augusto e Thalia, por fazerem parte dessa caminhada e cultivarem uma amizade de companheirismo e muitas risadas.

À minha orientadora, Ruth, pela paciência em todos esses anos, pelos puxões de orelha e conselhos. Agradeço também pelos projetos de PIBIC que desenvolvemos. Carrego comigo uma imensa bagagem desde então. A senhora fez muito por mim.

À professora Raissa, apesar de não ter sido minha professora na graduação, me ensinou e aconselhou em momentos difíceis. Você foi luz quando precisei, e guardo um imenso carinho.

Ao professor Jean, pelas aulas maravilhosas, que ensina com tanta paixão o que gosta, por sempre se dispor a ajudar, mesmo que não tivesse obrigação, e pelas conversas e risadas nesses anos.

Agradeço a cada um que citei e aos que não foram citados. Cada um de vocês fez parte dessa jornada de alguma forma, e lembrarei com carinho de todos os momentos, até mesmo os de estresse.

