



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DO ENSINO DE FÍSICA

**UMA OFICINA EXPERIMENTAL PARA O APROFUNDAMENTO DOS
CONCEITOS DE BURACOS NEGROS NA FÍSICA MODERNA:
ABORDAGENS E PERSPECTIVAS**

UM GUIA DE FÍSICA MODERNA PARA O PROFESSOR

Prof. José Francisco da Silva Nunes
Prof. Dr. Prof. Dr. Luis Gustavo de Almeida

- 2023 -

Sumário

1. Introdução aos tópicos de Estudo	5
1.1 Fundamentação Teórica – Evolução Estelar.....	5
<i>Formação e massa das Estrelas</i>	<i>6</i>
1.2 Buracos negros (evolução final).....	18
2. Desenvolvimento do material curricular e das etapas de aplicação.	21
2.1 O produto Educacional	24

APRESENTAÇÃO

Prezado amigo professor,

É amplamente reconhecido que o mundo tem sido palco de incessantes revoluções tecnológicas, as quais inevitavelmente acarretam transformações no âmbito educacional. A física moderna, por sua vez, tem experimentado uma crescente expansão de sua aplicabilidade na sociedade contemporânea, inclusive incorporando-se aos currículos do ensino médio. Diante do desafio de transmitir um conteúdo tão abstrato e complexo, bem como de demonstrar sua relevância no cotidiano, concebemos este recurso educacional.

Com o propósito de fomentar uma aprendizagem genuinamente significativa, fundamentada na teoria de David P. Ausubel, desenvolvemos a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Esta abordagem pedagógica é respaldada pelo emprego de oficinas experimentais que fazem uso de materiais acessíveis em termos de custos, os quais, quando combinados, resultam no produto educacional apresentado perante a banca de avaliação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, promovido pela Sociedade Brasileira de Física (SBF), em seu polo 59, vinculado à Universidade Federal do Acre (UFAC).

Conseqüentemente, torna-se evidente que este material foi concebido como um recurso de apoio destinado aos professores, cuja eficácia está intrinsecamente ligada ao emprego de técnicas adequadas e ao desenvolvimento de uma metódica programação voltada ao ensino da física moderna. Estamos confiantes de que este recurso pode se mostrar de grande utilidade e permanecemos à disposição para sanar eventuais dúvidas que possam surgir no que tange à sua aplicação.

Os autores

Prof. José Francisco da Silva Nunes
josefrancisconunes20@hotmail.com

Prof. Dr. Luis Gustavo de Almeida
lgalmeida@gmail.com

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO DE FÍSICA MODERNA ATRAVÉS DE OFICINAS

A apresentação significativa e eficaz de ideias e informações, visando a clareza, estabilidade e ausência de ambiguidades, com retenção duradoura de conhecimentos organizados, é identificada como a principal função da pedagogia. Tal tarefa é considerada exigente, criativa e distante de uma abordagem rotineira ou mecânica. A seleção, organização, apresentação e interpretação adequada do conteúdo em termos de desenvolvimento transcende a mera enumeração de fatos. Quando realizada de forma apropriada, representa o trabalho de um professor qualificado e de valor inquestionável.

A arte e a ciência de apresentação de ideias e de informações de modo significativo e eficaz – de forma a surgirem significados claros, estáveis e não ambíguos e a existir uma retenção durante um período de tempo considerável, como um conjunto de conhecimentos organizados – é, na verdade, a principal função da pedagogia. Esta é uma tarefa exigente e criativa e não rotineira nem mecânica. A tarefa de seleção, organização, apresentação e tradução do conteúdo das matérias, de uma forma apropriada em termos de desenvolvimento, exige mais do que uma simples listagem de fatos. Caso seja feita corretamente, trata-se do trabalho de um professor capacitado e dificilmente se pode desdenhar. (AUSUBEL, 2003, p. 52).

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são sequências de ensino fundamentadas dentro da Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS), que visam atuar como facilitadora da aprendizagem significativa. Com o objetivo de compreender como este trabalho pode se embasar nas teorias de Ausubel (ALVES, 2015), sua elaboração é fundamentada como uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativo (UEPS).

Tabela 1: Oito aspectos sequenciais para elaboração de uma UEPS e sua relação com o conteúdo proposto.

Aspectos sequenciais de uma UEPS de acordo com Moreira.	Desenvolvimento e aplicação da Oficina
Definir o tópico a ser abordado, resgatando o conhecimento prévio, e as relações que podem ser estabelecidas com o novo conhecimento.	A Física Moderna nos Buracos Negros.
Proporcionar situações para externalizar o conhecimento prévio dos alunos.	Essa é a fase de aplicação do questionário
Introduções ao tópico com situações que relacionem a nova informação com o conhecimento prévio (subsúncos) e o novo conteúdo.	Primeira Aula sobre Evolução Estelar para introdução dos conceitos de física.

Apresentar os conteúdos partindo dos assuntos mais gerais para os mais específicos.	Abordagem interativa do professor com aplicação da Sequência didática e uso do produto educacional
Retomada dos aspectos mais gerais dos conteúdos, com progressiva complexidade e interação entre o grupo, envolvendo negociação e significados.	Resolução de exercícios propostos pelo material didático
Abordagem de maior complexidade, com diversificação das atividades em uma abordagem integradora e colaborativa.	Desafio em criar questões sobre o conteúdo
Avaliação Processual e formativa da aprendizagem	O questionário inicial é reaplicado
Avaliação da UEPS, seguindo evidências da Aprendizagem Significativa.	Quantificação de erros e acertos para mapeamento de possíveis melhorias do material

Fonte: Adaptada pelo autor ao material didático.

Na presente dissertação, propomos a aplicação da Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel por meio de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) constituída de um conjunto de sequências didáticas dentro de uma oficina sobre o tema de buracos negros.

O primeiro passo é a identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca do tema, permitindo-nos compreender suas concepções iniciais e estabelecer um ponto de partida adequado. Em seguida, encontramos a subsunção, uma ideia central sobre a física de buracos negros que servirá como base sólida para a construção de novos conhecimentos.

Determinamos, então, as ideias derivadas, representando conceitos específicos e essenciais para a compreensão mais profunda do tema. A organização lógica e hierárquica dessas ideias é realizada para que a aprendizagem ocorra de forma progressiva e coerente. Na sequência, selecionamos cuidadosamente materiais e experiências que enriqueçam a compreensão dos conceitos, tornando o aprendizado mais significativo e envolvente.

A etapa crucial da relação entre o novo conteúdo e o conhecimento prévio dos alunos é cuidadosamente planejada para estabelecer conexões e facilitar a assimilação das informações. A UEPS, como um conjunto de sequências didáticas, é aplicada em sala de aula com o intuito de promover a aprendizagem significativa dos conceitos de buracos negros, incentivando os alunos a se tornarem ativos construtores do conhecimento.

Por fim, a avaliação do processo de ensino-aprendizagem é conduzida, permitindo-nos verificar a eficácia da UEPS na promoção do aprendizado significativo sobre a fascinante e complexa temática dos buracos negros

De uma maneira mais geral, podemos escrever as etapas supracitadas no quadro acima como:

- I. **Identificar os Conhecimentos Prévios:** Nesse passo, você precisa identificar os conhecimentos que os estudantes já possuem sobre o assunto (nesse caso, buracos negros). Isso pode ser feito através de questionários, discussões em sala de aula ou pesquisas.
- II. **Encontrar a Subsunçor (ideia inclusora):** A subsunçor é a ideia central e mais abrangente em torno da qual você vai construir o novo conhecimento. É aquela ideia que serve como uma base sólida para a compreensão dos conceitos mais complexos.
- III. **Determinar as Ideias Derivadas:** Essas são as ideias que serão ancoradas na subsunçor. Elas são os conceitos específicos que você deseja ensinar sobre buracos negros e que devem ser relacionados ao conhecimento prévio dos estudantes.
- IV. **Organizar as Ideias para Aprendizagem Significativa:** Nesse passo, você organiza as ideias derivadas em uma estrutura lógica e hierárquica, de modo que a aprendizagem ocorra de forma progressiva e coerente.
- V. **Selecionar Materiais e Experiências:** Escolha os materiais, atividades e experiências que serão utilizados para facilitar a aprendizagem significativa. Isso pode incluir livros, simulações, experimentos, entre outros recursos.
- VI. **Relacionar o Novo Material com os Conhecimentos Prévios:** Essa etapa é crucial para estabelecer as conexões entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio dos estudantes. Ajude-os a perceber como o que estão aprendendo está relacionado com o que eles já sabem.
- VII. **Aplicar a UEPS:** Aqui, você implementa a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, usando os materiais e atividades selecionados para promover a aprendizagem significativa dos conceitos de física de buracos negros.
- VIII. **Avaliar a Aprendizagem:** Por fim, avalie o processo de ensino-aprendizagem para verificar se a UEPS foi eficaz em promover a compreensão significativa dos conceitos de buracos negros. Você pode utilizar testes, questionários, discussões em sala de aula ou outras estratégias de avaliação.

De acordo com SCHINZEL, pg. 32, 2022, com base nas ideias e conceitos apresentados anteriormente, faremos uso desses princípios e abordagens de Ausubel, juntamente com as observações e perspectivas de Moreira, para desenvolver uma sequência didática que visa organizar

hierarquicamente os conceitos, enfatizando a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

1. Introdução aos tópicos de Estudo

Nesta seção iremos apresentar explicações sobre conceitos relacionados a Buracos Negros. Tendo em vista a necessidade de inserção dessa temática no currículo, elabora-se um caminho com a prospecção de como esses conteúdos podem ser inseridos no ensino médio e como serão abordados na sequência didática. Bem, como, podem ser ancorados aos subsunçores e conhecimento prévio dos alunos.

1.1 Fundamentação Teórica – Evolução Estelar

Desde os primórdios da humanidade há questionamentos sobre nossa origem e o lugar que ocupamos no Universo. Evidências disso podem ser encontradas em pinturas rupestres e em mitos e lendas de populações ancestrais e tradicionais, por exemplo. Nesse sentido, as estrelas e planetas constituem, dentro de uma perspectiva científica, corpos celestes que podem nos dar contribuições nas respostas sobre nossa origem e também sobre nosso futuro no Universo.

Dessa forma, estudar os corpos celestes, com especial atenção para as estrelas e a evolução destas no Universo, torna-se relevante na medida em que tais conhecimentos, quando originados de uma construção científica, contribuem para a exploração do Universo para além do planeta Terra, além da extrapolação do conhecimento humano para a formulação de hipóteses e posterior busca de suas validações.

O modelo cosmológico do Big Bang, amplamente aceito na comunidade científica, foi proposto por diversos pesquisadores ao longo do tempo, e suas principais contribuições foram fundamentais para a compreensão da origem e evolução do universo. Georges Lemaître¹, é

¹ Georges Lemaître (1894-1966) foi um influente cosmólogo e padre belga conhecido por suas principais obras e formulações na cosmologia. Em 1927, ele propôs a teoria da expansão do universo e sua origem em uma singularidade primordial, que ficou conhecida como o "átomo primordial" ou "ovo cósmico". Suas ideias foram fundamentais para o desenvolvimento do modelo cosmológico do Big Bang. Lemaître também formulou as equações de Friedmann-Lemaître, que descrevem a dinâmica da expansão do universo.

frequentemente creditado por propor pela primeira vez a teoria da expansão do universo e sua origem em uma singularidade primordial em 1927.

Edwin Hubble², astrônomo americano, foi responsável por confirmar a expansão do universo através da observação das galáxias se afastando umas das outras, o que ficou conhecido como a Lei de Hubble. A partir da década de 1940, o modelo do Big Bang foi refinado e desenvolvido por pesquisadores como George Gamow³, Ralph Alpher e Robert Herman, que descreveram a nucleossíntese primordial, processo que levou à formação dos elementos químicos mais leves durante os primeiros minutos após o Big Bang.

De acordo com Bertato, (2023)

Lemaître viveu o grande século da Física e foi contemporâneo das grandes discussões que mudaram para sempre o nosso entendimento sobre o Universo sendo mais um dos grandes personagens históricos a quem devemos alguns dos avanços intelectuais mais extraordinários que a humanidade já viu no campo das ciências da natureza. Sua principal contribuição foi lançar as bases para a chamada Teoria do Big Bang. (BERTATO, p. 441, 2023)

A relação entre o modelo do Big Bang e a formação das estrelas está intrinsecamente ligada ao processo de expansão do universo. Após o Big Bang, o universo começou a se expandir e a se resfriar. Esse resfriamento permitiu a formação de átomos, principalmente de hidrogênio e hélio, a partir da matéria primordial presente nos primeiros momentos do universo. Com o tempo, a gravidade começou a agir sobre a matéria distribuída no universo em expansão, levando à formação de estruturas cada vez maiores, como galáxias e aglomerados de galáxias.

Formação e massa das Estrelas

O Big Bang é o evento primordial que proporcionou as condições iniciais para a formação das estrelas, bem como para o desenvolvimento de todo o cosmos observável. Essa interligação entre a teoria do Big Bang e a formação das estrelas é essencial para entendermos a evolução do

² Edwin Hubble foi um astrônomo americano cujas principais contribuições para a física incluíram a confirmação da expansão do universo e a formulação da Lei de Hubble, que relaciona a velocidade de recessão das galáxias com suas distâncias.

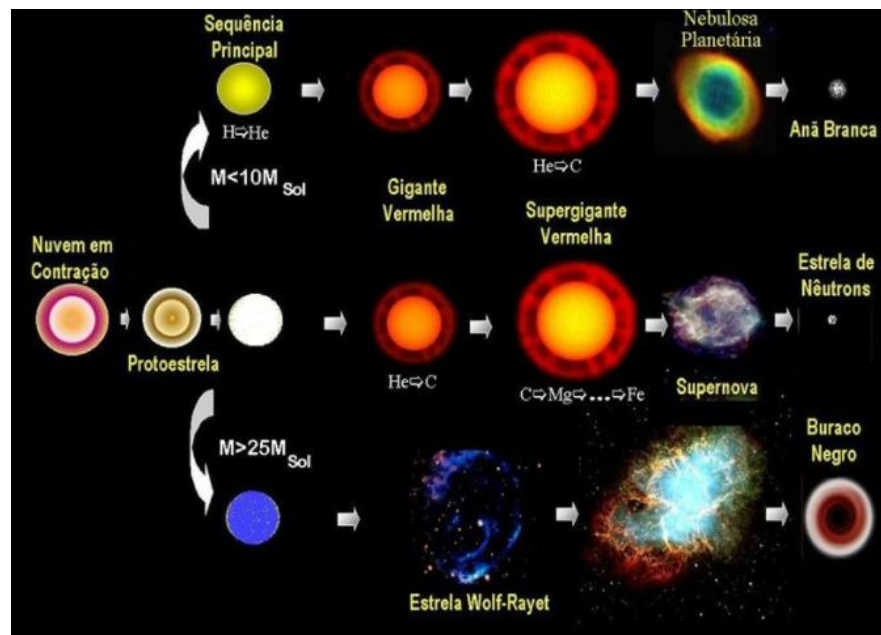
³ George Gamow, Ralph Alpher e Robert Herman foram físicos cujas contribuições para o campo de estudo incluíram a formulação da teoria da nucleossíntese primordial, que descreveu a formação dos elementos químicos leves nos primeiros minutos após o Big Bang, e a proposta da teoria do átomo primordial, uma ideia precursora do modelo do Big Bang.

universo ao longo do tempo e como as estrelas desempenham um papel fundamental na dinâmica e estrutura do universo em expansão.

As estrelas são formadas a partir do colapso gravitacional de nuvens interestelares compostas principalmente de hidrogênio e hélio. Sob a influência da gravidade, as nuvens se contraem e aquecem, iniciando reações nucleares em seus núcleos que liberam uma enorme quantidade de energia, dando início à fusão nuclear e à formação das estrelas.

Estrelas são estruturas esféricas autogravitantes compostas de gás ionizado, cuja energia é proveniente da transmutação de elementos através de reações nucleares, tais como a fusão nuclear do hidrogênio em hélio e, subsequentemente, em elementos mais pesados. A composição química predominante nas estrelas é de aproximadamente 80% de hidrogênio, 18% de hélio e cerca de 1% a 2% de elementos mais pesados.

Figura 1: Imagem Referente ao desenvolvimento teórico da Evolução das estrelas até se tornarem Buracos negros



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/estrelas.htm>

A contração estelar pode ser descrita pela equação de Lane-Emden, desenvolvida por Jonathan Lane⁴ e Robert Emden⁵. Essa equação é obtida a partir da solução da equação de equilíbrio hidrostático para a nuvem de gás em contração, sujeita a uma equação de estado politrópica. A equação de Lane-Emden descreve o perfil de densidade da nuvem de gás em relação ao raio, com base na massa e na temperatura. À medida que a nuvem se contrai, aumenta a pressão e temperatura em seu núcleo, iniciando um processo de fusão nuclear que leva à formação da protoestrela.

A equação diferencial de Lane-Emden é dada por:

$$\frac{1}{\zeta^2} \frac{d}{d\zeta} \left(\zeta^2 \frac{d\theta}{d\zeta} \right) + \theta^n = 0 \quad (1)$$

Onde ζ é o raio reescalado:

$$\zeta = r \left(\frac{4\pi G \rho_c^2}{(n+1)P_c} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

e a densidade ρ é dada como.

$$\rho = \rho_c \theta^n \quad (3)$$

Em 1869, a primeira publicação da equação de Lane foi realizada com o propósito de estimar a temperatura da superfície solar. De fato, a zona de convecção de uma estrela pode ser considerada em equilíbrio convectivo e descrita pela equação de Lane-Emden.

4 Jonathan Lane é um astrônomo e professor de astrofísica da Universidade de Birmingham, Reino Unido. Ele é conhecido por suas pesquisas nas áreas de evolução estelar, formação de estrelas e estrelas binárias. Seu trabalho tem contribuído significativamente para o entendimento dos processos de evolução e morte das estrelas, bem como para o estudo da interação de sistemas estelares binários. Lane é um pesquisador ativo e respeitado em sua área, e suas descobertas têm impactado o campo da astronomia estelar.

5 Robert Emden foi um matemático e astrofísico suíço nascido em 1862. Ele é conhecido por suas contribuições na área da estrutura interna de estrelas. Em particular, Emden desenvolveu as equações de Lane-Emden, que descrevem a distribuição de densidade de matéria no interior de uma estrela em equilíbrio hidrostático. Essas equações são essenciais para o estudo da estrutura estelar e fornecem informações importantes sobre como a matéria está distribuída no núcleo e nas camadas externas de uma estrela. As equações de Lane-Emden têm sido amplamente utilizadas em pesquisas em astrofísica e ajudaram a avançar nosso conhecimento sobre a evolução e o comportamento das estrelas.

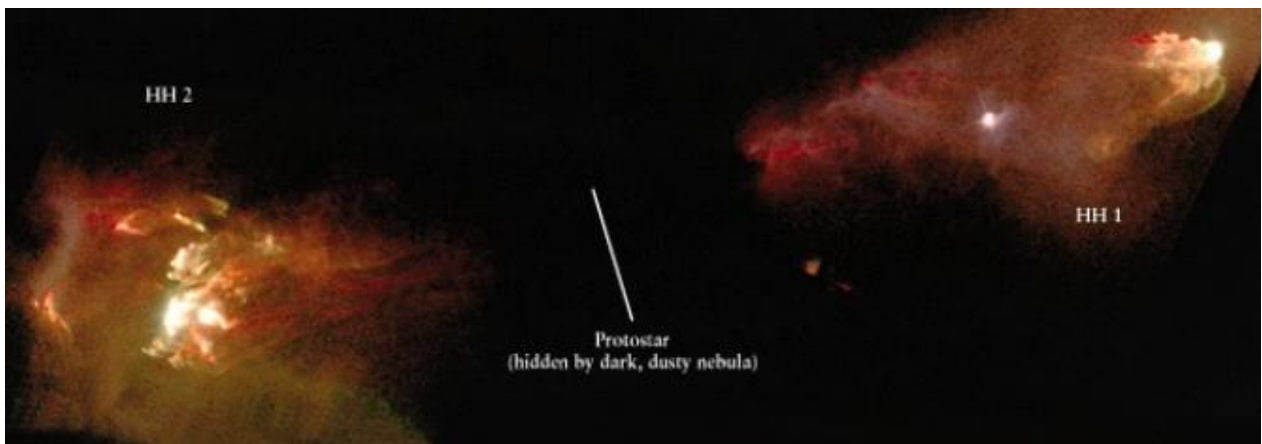
Já no próximo passo, conforme observado na figura 4, durante a fase de protoestrela, as reações nucleares convertem o hidrogênio em hélio, liberando enormes quantidades de energia na forma de radiação e ventos estelares.

De Acordo com

Eventualmente a nuvem acaba colapsando sob sua própria auto-gravitação. A nuvem começa o colapso de dentro para fora, o material na região central colapsa primeiro e o material externo permanece estacionário. O colapso ocorre, então, nas regiões externas ao núcleo. A taxa de acreção de massa no núcleo cresce com a temperatura inicial da nuvem. Leva cerca de 10^5 a 10^6 anos para acumular o equivalente a uma massa solar no núcleo da nuvem. A energia potencial gravitacional é convertida em energia térmica aquecendo a superfície da proto-estrela a até milhões de Kelvin. O caroço que se forma no centro é o que chamamos de “proto-estrela”. A proto-estrela não é uma estrela propriamente dita, pois não apresenta ainda reações nucleares em seu interior, mas pode ser considerada um “embrião” de estrela. (DE ALMEIDA, p. 2, 2022).

A evolução da protoestrela é descrita pelas equações de estrutura estelar, que incluem as equações de conservação de massa, momento e energia, juntamente com as equações de estado que descrevem o comportamento termodinâmico do plasma estelar. A equação de Hayashi, proposta por Chushiro Hayashi, é uma das equações de estado utilizadas para descrever a evolução das protoestrelas ao longo do diagrama Hertzsprung-Russell (HR), revelando a trajetória que as protoestrelas seguem até atingirem a sequência principal.

Figura 2: Duas protoestrelas nomeadas como HH1 e HH2



Fonte: SOBRINHO, 2003.

De acordo com Guimarães, pg. 13, (2004), “Quando a estrela diminui o seu raio, ela passa a ter uma área superficial menor e com isso sua luminosidade cai, mas sua temperatura aumenta.

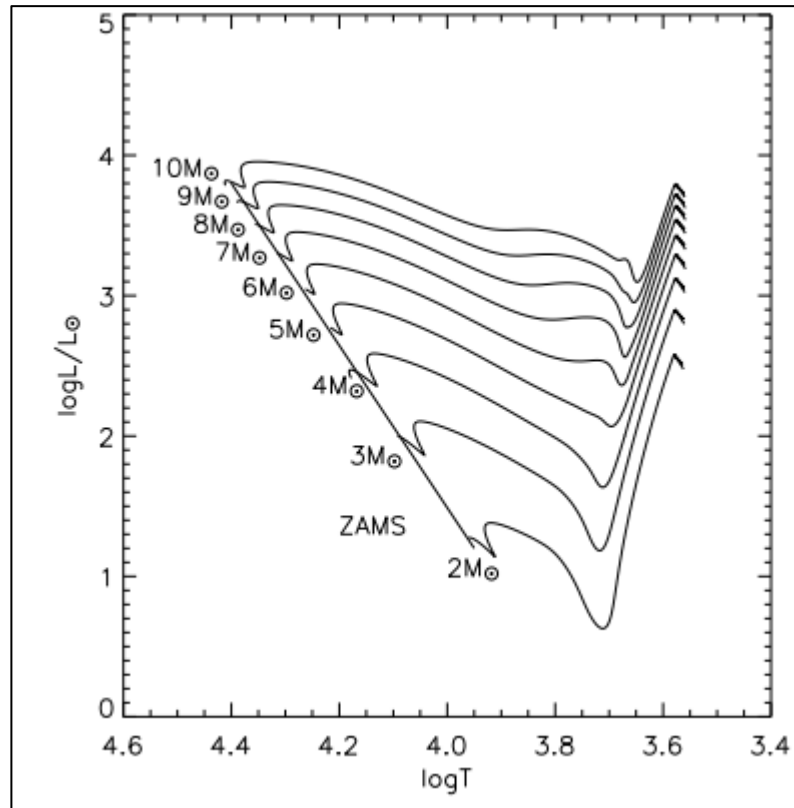
Quando a temperatura no interior aumenta, o transporte de energia por radiação torna-se dominante e desenvolve-se um núcleo radiativo que cresce com a diminuição do raio às custas do envelope convectivo. Estrelas com massa maior que $0.8 M_{\odot}$ obedecem a uma relação de massa-luminosidade tal que $L_{\star} \approx M_{\star}^3$. Dessa forma, à medida que o núcleo se torna radiativo, a contração em direção a sequência principal ocorre com luminosidade praticamente constante. (GUIMARÃES, pg. 14, 2004).

A trilha seguida pela protoestrela no diagrama H-R é dada aproximadamente por (Bowers & Deeming, 1984):

$$\log L = 10 \log M - 7.24 \log T_{\text{eff}} + \text{constante} \quad (4)$$

e é conhecida como trilha de Hayashi, cujo exemplo pode ser visto na Figura 5,

Figura 3: Diagrama H-R mostrando a localização da trilha de Hayashi e da Sequência Principal.



Fonte: (GUIMARÃES, pg. 14, 2004).

O diagrama Hertzsprung-Russell (HR) é uma ferramenta fundamental na astronomia e astrofísica para estudar e compreender as propriedades das estrelas. Esse diagrama, nomeado em homenagem aos astrônomos Ejnar Hertzsprung⁶ e Henry Norris Russell⁷, representa a luminosidade das estrelas em relação à sua temperatura efetiva ou cor, resultando em uma distribuição de estrelas ao longo de uma sequência característica. No eixo horizontal do diagrama, a temperatura efetiva das estrelas é representada, geralmente em ordem crescente da direita para a esquerda, enquanto no eixo vertical é mostrada a luminosidade, expressa em escala logarítmica.

De acordo com Gomes, (p. 96, 2017) os astrofísicos Ejnar Hertzsprung e Henry Norris Russell desenvolveram, independentemente, um diagrama que relaciona a luminosidade de uma

⁶Ejnar Hertzsprung foi um astrônomo dinamarquês nascido em 8 de outubro de 1873. Ele é conhecido por suas contribuições pioneiras no campo da astronomia estelar e por ser um dos co-criadores do Diagrama Hertzsprung-Russell (HR).

⁷Henry Norris Russell foi um renomado astrônomo e astrofísico norte-americano, nascido em 25 de outubro de 1877. Ele é amplamente conhecido por suas contribuições significativas na área da astronomia estelar e foi um dos co-criadores do Diagrama Hertzsprung-Russell (HR) em colaboração com Ejnar Hertzsprung.

estrela com sua temperatura superficial, também chamada de temperatura efetiva. Este diagrama é conhecido como diagrama HR. Seu eixo horizontal, representado pela temperatura efetiva, geralmente em Kelvins, tem sentido crescente da direita para a esquerda.

Pela lei de Stefan-Boltzmann, a luminosidade de uma estrela é dada por:

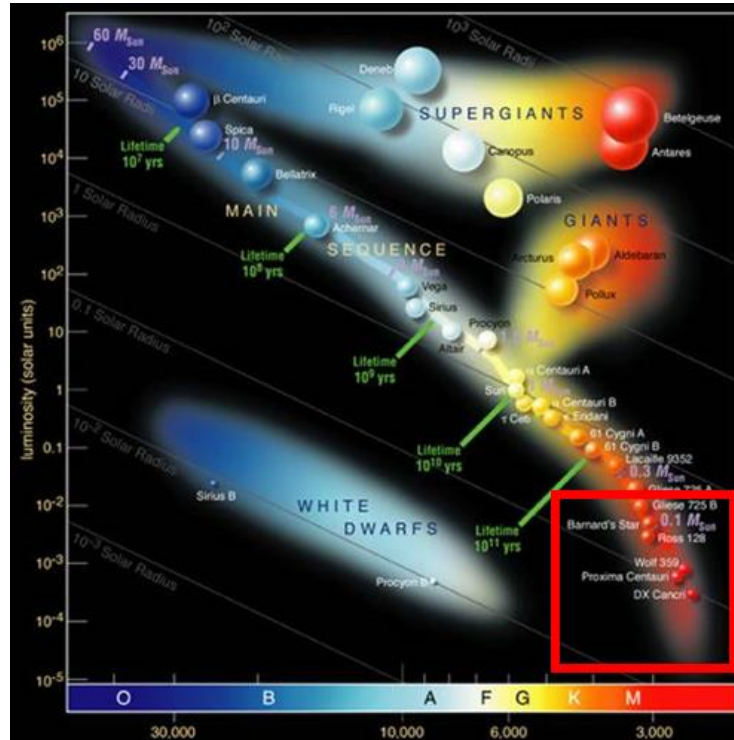
$$L = 4\pi r^2 \sigma T^4 e_{ff}. \quad (5)$$

- Em que r é o raio da estrela,
- σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

A lei de Stefan-Boltzmann é uma importante relação física que descreve a taxa de energia radiante emitida por um corpo, como uma estrela, em função de sua temperatura. Essa lei estabelece que a luminosidade (energia irradiada por unidade de tempo) de uma estrela é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta. Em outras palavras, quanto mais quente uma estrela, maior será sua luminosidade.

Essa relação fundamental permite que os astrônomos determinem a luminosidade de estrelas distantes e compreendam aspectos cruciais de sua evolução e comportamento.

Figura 4: Gráfico da luminosidade das estrelas versus sua temperatura de superfície.



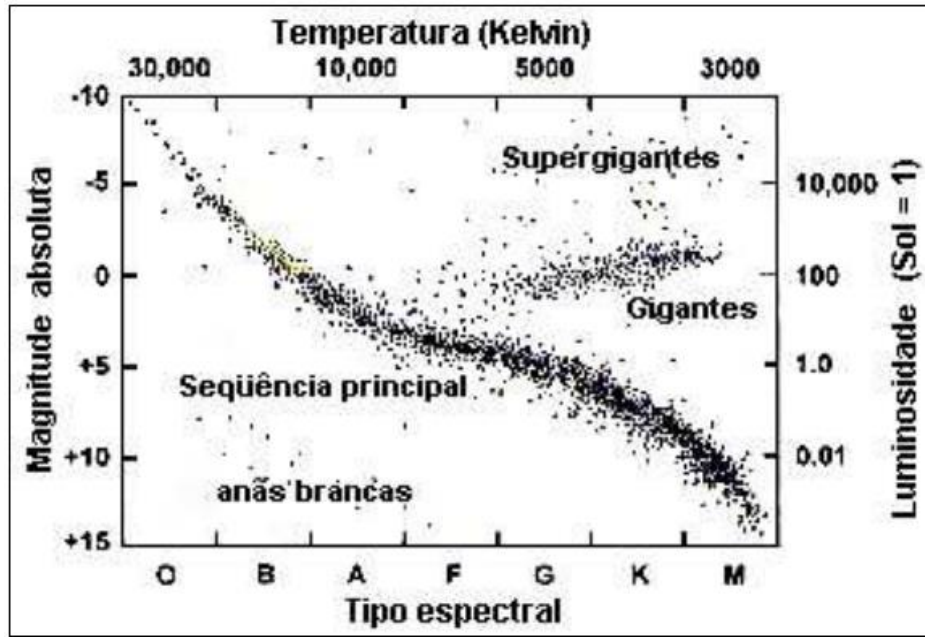
Fonte: Gomes, p. 97, 2017

As estrelas que se encontram na sequência principal são amplamente distribuídas pelo Universo, constituindo a maioria das estrelas observadas. Esse estágio representa a maior parte de suas vidas e é marcado por uma faixa distintiva no diagrama Hertzsprung-Russell (HR), localizada no centro deste diagrama.

De acordo com DE ALMEIDA, 2022.

Conhecer as características de uma protoestrela possibilita saber como será seu processo evolutivo, se chegará à sequência principal, se se tornará uma estrela anã, gigante vermelha, estrela de nêutrons, etc. Além disso, o estudo de regiões densas do meio interestelar possibilita saber quais delas são propícias à formação de estrelas. A partir de observações no infravermelho e micro-ondas com telescópios espaciais, podem-se obter dados sobre nuvens moleculares e protoestrelas que permitirão classificá-las para, então, entendermos seus processos evolutivos. (DE ALMEIDA, pg 2, 2022)

Figura 5: Exemplo de Diagrama HR



Fonte: (DE ALMEIDA, pg 2, 2022)

Já diante da sequência principal, temos a representação da fase mais estável da evolução estelar, onde as estrelas passam a converter hidrogênio em hélio em seus núcleos de maneira estável. A evolução das estrelas na sequência principal é regida por equações estruturais estelares, como as equações de conservação de massa e energia, juntamente com as equações de transporte de energia, que descrevem a transferência de energia do núcleo para a superfície estelar através de processos de radiação e convecção. A equação de Vogt-Russell, formulada por Henry Norris Russell e Heinrich Vogt, relaciona a massa, a luminosidade e a temperatura efetiva de estrelas nessa fase. De acordo com Dexheimer (2006),

Quando são dadas a composição química e a massa total M da estrela, a estrutura e as grandezas características do estado são determinadas e o teorema de Vogt-Russell indica que existem apenas uma solução. No caso da homogeneidade química no interior da estrela, e para produção de energia através de fusão nuclear esse teorema é válido. Para estrelas com distribuição de elementos equivalentes, as quantidades integrais que representam os seus estados apenas dependem da massa total da estrela. Nesse caso vale $L = L(M)$ e $T = T(M)$, de tal forma que existe uma relação rígida entre L e T_{ef} , o que se observa de fato na sequência principal no diagrama de Hertzsprung-Russell. Dexheimer, p. 26, 2006

Estrelas são formadas a partir do colapso gravitacional de uma nuvem de gás formada principalmente por hidrogênio molecular (H₂). A formação de uma estrela inicia-se quando, por algum mecanismo ainda não completamente compreendido, partes de uma nebulosa começam a se aglutinar pela força da gravidade, formando uma complexa estrutura de filamentos de gás.

De acordo com a imagem divulgada pela NASA, ver Figura 7, tirada pelo novo telescópio espacial James Webb, podemos verificar um berçário de estrelas, com a imagem da região de formação estelar mais próxima da terra, descobertas até hoje.

A imagem do primeiro aniversário do Telescópio Espacial James Webb da NASA exhibe o nascimento de estrelas como nunca antes visto, cheio de textura detalhada e impressionista. O assunto é o complexo de nuvens Rho Ophiuchi, a região de formação estelar mais próxima da Terra. É um berçário estelar relativamente pequeno e silencioso, mas você nunca o reconheceria pelo close-up caótico de Webb. Jatos saindo de estrelas jovens cruzam a imagem, impactando o gás interestelar circundante e iluminando o hidrogênio molecular, mostrado em vermelho. Algumas estrelas exibem a sombra reveladora de um disco circunestelar, a formação de futuros sistemas planetários. (NASA, 2023)⁸

⁸ NASA. Webb Celebrates First Year of Science with New Image. Disponível em: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2023/webb-celebrates-first-year-of-science-with-new-image>. Acesso em: 30 jul. 2023.

Figura 6: Estrelas na imagem exibem sombras reveladoras indicando discos protoplanetários – potenciais futuros sistemas planetários em formação.



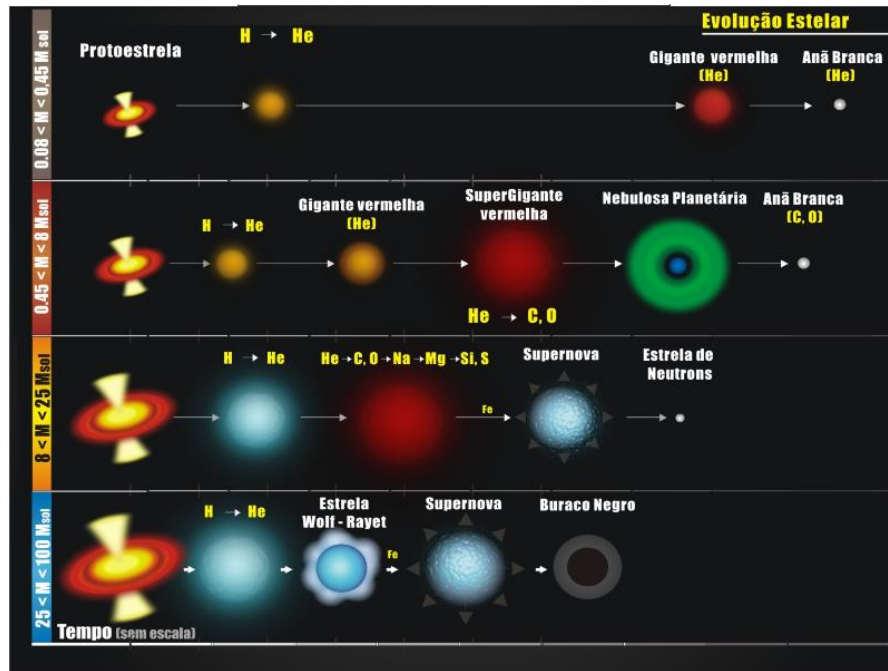
Fonte: (NASA. 2023).

As estrelas nas fases estáveis estão em equilíbrio pois a queima nuclear produz uma pressão que agirá oposta à contração gravitacional fazendo-a parar. Começa assim suas fases até seus possíveis destinos. As estrelas têm três possíveis fins, e isso tudo depende da sua formação inicial que no caso será sua massa inicial. Elas podem tornar-se anãs brancas, estrelas de nêutron ou buracos negros.

Após a passagem pela sequência principal de uma estrela com massa inicial entre 1 e 10 massas solares, ocorre a perda de grande parte de sua massa, resultando em uma anã branca com menos de uma massa solar.

O tempo de evolução e fim de uma estrela depende muito da sua massa inicial, estrelas mais massivas tem um tempo de vida menor do que as de menores massas, além de serem mais brilhosas e serem mais quentes. As de menores massas tem um tempo de vida mais longo, pois demoram mais para concluir todo o seu ciclo de evolução.

Figura 7: Figura com a evolução das estrelas de acordo com as suas massas iniciais e seus possíveis fins evolutivos.



Fonte: OLIVEIRA FILHO E SARAIVA (2023)
 disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>

A cor de uma estrela está intrinsecamente relacionada com sua temperatura. Esse fenômeno se deve ao fato de que as estrelas emitem radiação eletromagnética em diferentes faixas do espectro visível, dependendo de sua temperatura superficial. As estrelas mais quentes tendem a emitir mais radiação na faixa do azul e do ultravioleta, o que confere a elas uma tonalidade mais azulada. Por outro lado, as estrelas mais frias emitem mais radiação na faixa do vermelho e do infravermelho, resultando em uma coloração mais avermelhada. Portanto, a análise das cores das estrelas é uma ferramenta fundamental na astronomia para determinar suas temperaturas e entender as propriedades físicas desses corpos celestes.

Considerado o primeiro possível caminho dado a evolução estelar, após a sequência principal depende de maneira principal da massa do aglomerado de gases. Estrelas com massa inferior a 8 vezes a massa do Sol, após a fase de sequência principal, tornam-se gigantes vermelhas e evoluem para anãs brancas em nebulosas planetárias.

Por outro lado, estrelas com massa maior que 8 vezes a massa solar enfrentam uma explosão chamada de supernova, resultando em remanescentes estelares como estrelas de nêutron ou, caso a massa seja suficiente, buracos negros.

1.2 Buracos negros (evolução final)

A formação de buracos negros é um dos fenômenos mais intrigantes e complexos da astrofísica. Esse processo começa com a aglutinação gravitacional de uma nuvem de gás interestelar, composta principalmente de hidrogênio e hélio. As interações gravitacionais conduzem à contração da nuvem, resultando na formação de uma protoestrela.

Albert Einstein (1879-1955) terminou a formulação de sua teoria de gravitação, a Teoria da Relatividade Geral (TRG), em novembro de 1915. O astrofísico alemão Karl Schwarzschild (1873-1916) leu o artigo de Einstein, publicado numa revista científica prussiana, em circunstâncias dramáticas: ele servia o exército alemão durante a I Guerra Mundial, na frente russa. Imediatamente pôs-se a calcular as consequências da teoria para a gravitação causada por uma estrela isolada. Obteve então a primeira solução exata das equações de campo de Einstein para o espaço exterior a uma distribuição esférica e estática de massa M . Enviou os seus resultados a Einstein que se admirou do feito de Schwarzschild: ele mesmo não acreditava ser possível chegar a uma solução analítica e exata de suas equações dadas as enormes complexidades matemáticas envolvidas. Schwarzschild teve a engenhosidade de escolher um sistema simples, de alta simetria, para empreender a primeira e mais notável solução particular da TRG. (THORNE, p. 129, 1994)⁹ – Traduzido pelo autor.

A formação de buracos negros ocorre após uma supernova, na qual o núcleo da estrela entra em colapso gravitacional irreversível. A *equação de Schwarzschild*¹⁰, desenvolvida por *Karl Schwarzschild*, é a solução para a métrica de espaço-tempo em torno de um buraco negro não-rotativo. Essa equação revela a existência de uma singularidade gravitacional no centro do buraco negro, conhecida como *singularidade de Schwarzschild*, e define o raio crítico conhecido como *raio de Schwarzschild*, que representa o horizonte de eventos, onde a gravidade é tão intensa que nem a luz pode escapar. De acordo com (STEINE, pg. 3 2010)

A solução que Schwarzschild encontrou contém uma característica curiosa. Se pensarmos na fórmula da aceleração da gravidade produzida a uma distância r de um corpo de massa M , ela é facilmente obtida pela fórmula de Newton [...]. No entanto, a solução de Schwarzschild introduz uma correção sobre a fórmula de Newton. Quando o raio é muito pequeno, essa correção pode ser apreciável. Em caso extremo, o termo de correção pode ter um denominador nulo! Em outras palavras, surge uma singularidade. Para uma dada massa, isso ocorre a um raio chamado de Raio de Schwarzschild. Se uma estrela tivesse um raio menor do que esse valor, não poderíamos vê-la. Os raios de luz por ela emitidos seriam “refletidos” pela aceleração infinita. Para um observador externo, o objeto não

⁹ K. Thorne, *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy* (W.W. Norton & Company, New York, 1994)

¹⁰ Karl Schwarzschild foi um físico e astrônomo alemão, nascido em 9 de outubro de 1873. Ele é conhecido por suas contribuições significativas para a física teórica, especialmente no campo da relatividade geral. Schwarzschild estudou na Universidade de Estrasburgo e posteriormente trabalhou em vários observatórios e instituições científicas ao longo de sua carreira.

pareceria uma estrela, mas um “buraco negro” no espaço. Essa singularidade por muito tempo foi considerada uma curiosidade matemática. (STEINE, pg. 3 2010)

Albert Einstein não conseguiu encontrar a solução completa que descreveria o campo gravitacional de um corpo esférico na teoria da Relatividade Geral. No entanto, ele fez importantes avanços ao descrever as correções à teoria newtoniana do potencial gravitacional. No caso específico de um corpo esférico e homogêneo de massa M localizado na origem das coordenadas cartesianas (x, y, z) , o potencial gravitacional é representado de forma simplificada por uma expressão concisa:

$$\Phi(x, y, z) = - \frac{GM}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \quad (6)$$

De acordo com SAA, pg. 5, (2016), a Relatividade Geral (RG) é uma teoria radicalmente diferente da Gravitação Universal de Newton. Em particular, a interação gravitacional não é mediada por um potencial como descrito na equação 6, mas pelas propriedades geométricas do Espaço-Tempo, conceito fundamental que havia sido introduzido em 1908 pelo colega de Schwarzschild em Gottingen H. Minkowski. Ainda de acordo com este Autor,

As propriedades geométricas em questão são as descritas pelo chamado tensor métrico, com o qual pode-se escrever o equivalente de uma noção infinitesimal de comprimento para o Espaço-Tempo, o chamado elemento de linha. Curiosamente, Schwarzschild escreve sua solução já na forma “moderna” em coordenadas espaço-temporais esféricas (t, r, θ, ϕ) , nas quais o elemento de linha da solução é dado por: (SAA, pg. 5, 2016)

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_s}{r}\right) dt^2 - \frac{dr^2}{1 - \frac{r_s}{r}} - r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) \quad (7)$$

Entretanto, a interpretação correta desse conceito ainda levaria mais tempo para se desenvolver. Em um segundo trabalho publicado por Schwarzschild em abril de 1916, ele passou a considerar não apenas o caso de uma massa pontual, mas também uma distribuição esférica e homogênea de matéria. Foi nesse estudo que ele finalmente identificou sua constante r_s como:

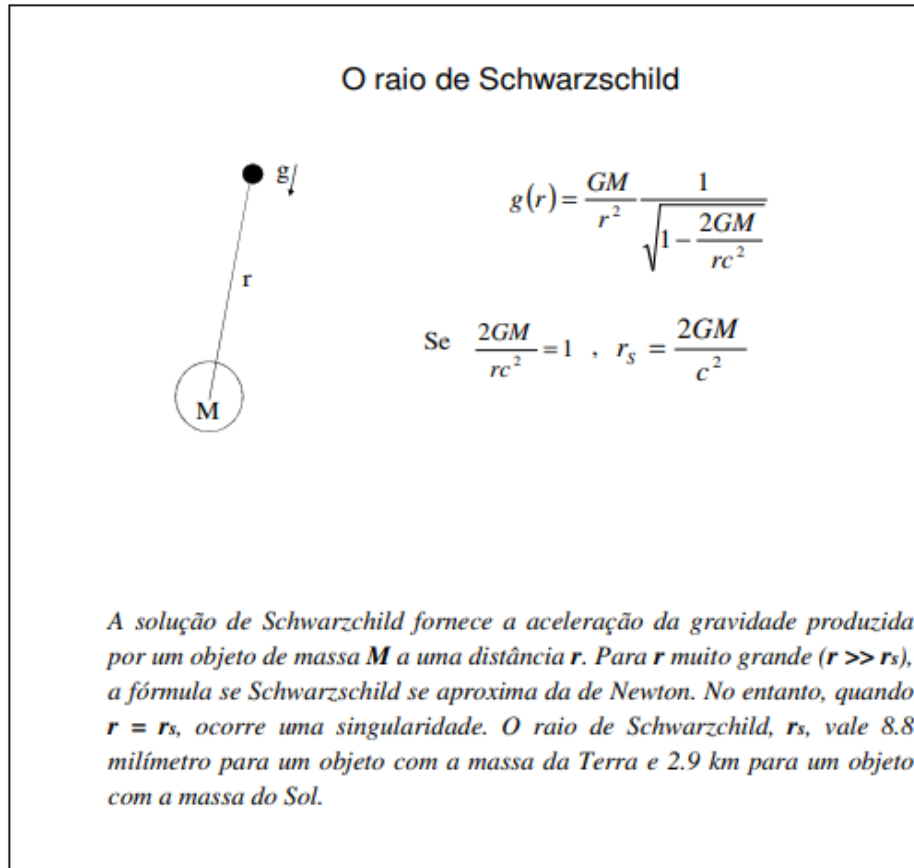
$$r_s = \frac{2GM}{c^2} \quad (8)$$

Considerando C a velocidade da luz no vácuo.

Albert Einstein, um dos cientistas mais renomados da história, é notavelmente conhecido por sua economia em citações científicas, sendo que em seu trabalho seminal sobre a Relatividade Geral, ele fez menção a apenas duas referências: o primeiro artigo de Schwarzschild e um de Hilbert. Karl Schwarzschild, foi citado através de seu estudo e contribuição sobre o campo gravitacional de uma distribuição esférica e homogênea de matéria.

Além disso, é importante ressaltar o papel significativo de Felix Klein no desenvolvimento das geometrias não-euclidianas, conceitos essenciais para o avanço da Física e da Matemática no Século XX. Suas contribuições, em particular, foram fundamentais para a formulação da teoria da Relatividade Geral, representando um dos pilares no desenvolvimento dessa importante área da ciência. Através do trabalho de Einstein, Schwarzschild e outros cientistas pioneiros, a Relatividade Geral foi estabelecida como uma teoria fundamental na compreensão do Universo em escalas cósmicas e continua a ser uma das principais teorias da física moderna.

Figura 8: A equação de Schwarzschild atenta ao olhar esférico junto a sua constante.



Fonte: STEINER, 2010.

A criação de buracos negros é um processo complexo que envolve uma série de estágios, desde a contração de uma nuvem de gás até o colapso gravitacional irreversível. As equações fundamentais, creditadas a seus respectivos postuladores, fornecem uma base teórica sólida para entender a evolução das estrelas ao longo do tempo e o fascinante fenômeno da formação de buracos negros no universo. O estudo detalhado desses processos é fundamental para a compreensão da astrofísica e da evolução das estrelas em diferentes massas, contribuindo para uma visão mais abrangente da estrutura e dinâmica do cosmos.

2. Desenvolvimento do material curricular e das etapas de aplicação.

No presente estudo, foi conferida uma atenção minuciosa ao processo de aplicabilidade do produto e ao levantamento de dados em todas as suas etapas. Essa abordagem foi considerada essencial, uma vez que é nessa fase que se realizam análises qualitativas da aprendizagem do aluno,

permitindo a comparação entre o teste inicialmente aplicado e os resultados obtidos no teste final. Nesse sentido, destacam-se as seguintes fases do processo:

- I. Na primeira etapa, procedeu-se à construção do produto educacional, compreendendo a análise de como ocorreriam as transposições didáticas no contexto das oficinas de aprendizagem, e como essas transposições seriam relacionadas ao novo conteúdo, alinhadas ao plano pedagógico da disciplina e aos conhecimentos prévios ou subsunçores dos alunos.
- II. O período de aplicação do produto se estendeu entre o segundo e o terceiro bimestre, uma vez que o pós-teste só pôde ser realizado após o retorno das férias do meio do ano.
- III. A aplicação do pré-teste foi planejada para evitar cansaço e intimidação dos alunos em relação aos temas abordados. Assim, o pré-teste foi administrado como o primeiro passo em sala de aula, precedido por uma conversa com os coordenadores pedagógicos e a turma, a fim de explicar a importância e seriedade do trabalho. A aplicação foi programada para durar aproximadamente 50 minutos em cada encontro.
- IV. Durante a aplicação do produto, os temas relacionados à física dos buracos negros foram apresentados e explorados. Em seguida, a sequência didática planejada foi conduzida, envolvendo a resolução de exercícios, debates, exposição de contextos históricos e outras ferramentas de ensino, com o suporte das oficinas de aprendizagem.
- V. Após a aplicação do produto, foi realizado o pós-teste para avaliar a eficácia da intervenção escolar no ensino e aprendizagem de física moderna.
- VI. Para a análise dos dados, os resultados obtidos nas aplicações dos testes foram apresentados por meio de gráficos, a fim de observar possíveis indícios de aprendizagem significativa. O Google Formulários foi utilizado para coletar as respostas dos alunos, e sua ferramenta de envio por e-mail no formato de planilha no Excel facilitou o tratamento dos dados.

Tabela 2: Tabela de aplicação do produto educacional e formulários

Cronograma de aplicação	Dias realizados
Aplicação do Pré-Teste	30 de maio de 2022
Aplicação da Sequência didática com uso do produto educacional	30 de maio de 2022 a 17 de junho de 2022.
Aplicação do Pós Teste	04 de agosto de 2022

Fonte: Próprio Autor

A evolução estelar é a mudança que as estrelas fazem ao longo de sua vida, nas suas transformações através das fases em que se encontram. A sequência (Apêndice A), trabalha o ciclo de evolução das estrelas e também conteúdos relacionados com o tema, até chegarmos aos possíveis fins das mesmas.

No final da sequência, os estudantes devem compreender o conceito de estrelas e que elas têm um ciclo de vida, ou seja, elas vivem e “morrem”. Esses conteúdos serão desenvolvidos por meio de explicações acompanhadas de leituras de texto e exibição de imagens e/ou material audiovisual, elaboração e sistematização do conteúdo em esquemas, pesquisa e elaboração de maquete ou vídeo, além da introdução do produto educacional dentro da sequência.

A atividade será desenvolvida em 4 encontros, totalizando, aproximadamente, 8 horas de aplicação da sequência didática.

Tabela 3: Evolução dos conteúdos utilizados na sequência didática de acordo com o tempo proposto.

Nº	Temas	Tempo (min.)
01	Introdução a evolução estelar	120 (duas Aulas)
02 e 03	Formação e massas das estrelas	120 (duas aulas)
04 e 05	Anãs brancas, estrelas de nêutron e buracos negros (evolução final)	120 (duas aulas)
06	Aferição dos objetivos de aprendizagem	120 (duas aulas)

Fonte: Próprio Autor

Através do desenvolvimento cuidadoso do material curricular e das etapas de aplicação, é possível alcançar uma abordagem educacional mais abrangente e eficaz. Ao integrar estratégias pedagógicas como a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, o uso de sequências didáticas detalhadas e a incorporação de apresentações de slides que envolvam todos os fatores sensoriais do aluno, é possível promover uma aprendizagem mais significativa e engajadora. A construção de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) e a consideração cuidadosa das diferentes fases do processo, como a aplicação de pré e pós-testes, garantem uma avaliação abrangente do progresso dos alunos. O embasamento teórico e a aplicação prática dessas estratégias, como discutido em nossa conversa, têm o potencial de enriquecer a experiência educacional, tornando-a mais eficiente e alinhada com as necessidades dos alunos. Em síntese, ao unir teoria e prática, o desenvolvimento do material curricular e das etapas de aplicação contribui significativamente para o aprimoramento do ensino e para o avanço do processo de aprendizagem dos estudantes.

2.1 O produto Educacional

A presente subseção tem como propósito oferecer uma explicação detalhada do produto educacional desenvolvido neste estudo. O referido produto foi concebido com o intuito de proporcionar uma abordagem inovadora no ensino de física moderna, com ênfase na compreensão dos ciclos das estrelas. Por meio dessa explanação, será possível compreender como o material curricular foi estruturado, as estratégias didáticas utilizadas e como ele visa potencializar a aprendizagem dos alunos. Nesse sentido, serão apresentados os elementos que compõem o produto, bem como as etapas de aplicação que foram cuidadosamente planejadas para estimular o envolvimento ativo e significativo dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem.

No decorrer das aulas, a sequência didática seguiu o modelo apresentado na tabela:

Tabela 4: Modelo exemplificativo do plano de aula abordado e utilizado na pesquisa.

Pré-Aula	A <i>pré-aula</i> é sempre constituída de uma curiosidade em forma de vídeo ou qualquer outra interação que possa despertar no aluno o interesse pela aula que será aplicada, além de aguçar os subsunçores para o momento da aula.
Aula	A <i>aula</i> é o momento de ancorar os novos conteúdos ao que o aluno apresentou como subsunçor; é o desenvolvimento da aula a partir do tema que está sendo proposto.
Mão na Massa	Já o “Mão na Massa”, é o momento que o aluno desenvolve uma atividade para fixação do conteúdo recém apresentado. Podendo ser exercícios de fixação, uso de simuladores, ou softwares e experimentos.
Fechamento da aula	Por fim, o fechamento da aula é um modo de recapitular tudo que foi visto até aquele presente momento, como uma cola para fixação do conteúdo ancorado ao subsunçor do aluno. Por conseguinte, o Pós-Aula, é a revisão de maneira lúdica, para dar a garantia que os alunos irão rever o conteúdo apresentado naquela aula em casa.
Pós -Aula.	O pós-aula pode ser as vezes o reuso da pré-aula, agora sob uma nova óptica do conhecimento do conteúdo, como pode ser um complemento ou curiosidade aquém do uso do material e conteúdo usado em sala de aula. A estratégia é que os alunos visualizem aquele conteúdo proposto novamente em um novo momento antes de novos conteúdos da próxima aula.

Fonte: Próprio Autor

A utilização das sequências didáticas de maneira detalhada desempenha um papel fundamental no processo de ensino e aprendizagem. Ao estruturar o planejamento pedagógico de forma sequencial e minuciosa, os educadores podem oferecer aos estudantes uma experiência educacional mais significativa e eficaz.

As sequências didáticas detalhadas permitem uma abordagem cuidadosamente planejada, proporcionando uma progressão lógica e coerente de conteúdos, atividades e avaliações. Isso

permite que os alunos desenvolvam habilidades, conhecimentos e competências de forma progressiva, construindo uma base sólida para o aprendizado futuro. Além disso, a abordagem detalhada das sequências didáticas permite que os educadores identifiquem e atendam às necessidades individuais dos alunos, oferecendo suporte adequado e ajustando o ritmo de ensino conforme necessário. De acordo com Franco, 2018.

Por meio da sequência didática, o docente que tenha fragilidade em algum conhecimento pode ter a oportunidade de adquiri-lo enquanto se prepara para lecionar tal tema. A sequência didática vem como uma sugestão da ação pedagógica. A todo momento, o docente pode intervir para a melhoria no processo ensino e aprendizagem, oportunizando situações para que o educando assumira uma postura reflexiva e se torne sujeito do processo de ensino e aprendizagem. (FRANCO, p. 153, 2018).

Ao incorporar as sequências didáticas detalhadas em sua prática pedagógica, os educadores têm a oportunidade de promover a motivação dos alunos, tornando o processo de aprendizagem mais envolvente, eficiente e enriquecedor.

Dada a primeira aplicação, disponibilizou-se as sequências didáticas para a coordenação escolar validar junto ao professor regente da turma de física, de maneira a estar dentro dos padrões e normas requisitadas pela escola para o bom desenvolvimento dos momentos de estudos dos alunos em sala de aula. Uma vez aprovada seguimos com as aplicações, conforme versam as tabelas abaixo:

Tabela 5: Desenvolvimento e aplicação da primeira sequência didática apresentada.

Primeira aula (120 min)
PRÉ-AULA: Os alunos deverão acessar o formulário disponível no google forms, para levantamento dos subsunçores.
AULA: O professor contará com alguns recursos de imagens e vídeos para mostrar aos alunos, sem contar qual será o conteúdo abordado, na ideia de gerar uma expectativa pelo conteúdo que será apresentado. A ideia é despertar a curiosidade e aguçar os subsunçores levantados na aplicação do pré-teste. Logo depois, começará uma exposição dialogada sobre o que eles viram, e com essa conversa, determinar de maneira intrínseca os conhecimentos prévios dos alunos.
MÃO NA MASSA: Um desafio para que os alunos em uma folha em branco, desenhem, sem pesquisar, como eles acham que é o ciclo de vida de uma estrela. E na sequência trocarem os desenhos com outros colegas para a comparação entre os alunos e suas percepções.
FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com uma exposição dialogada revisada a respeito dos conteúdos que foram abordados no primeiro encontro. Com uma pequena abertura para que os alunos falem sobre a experiência de responderem ao pré-teste.
PÓS-AULA: Como pós-aula os alunos deverão assistir a qualquer vídeo de seu interesse no <i>you tube</i> que fale a respeito do ciclo de uma estrela até que ela se torne um buraco negro.

Fonte: Próprio Autor

Os desenhos dos ciclos estelares representam uma forma visualmente atrativa e intuitiva de apresentar as diversas etapas evolutivas das estrelas, desde a sua formação até o seu término. Ao incorporar essas representações gráficas nas aulas, os educadores podem proporcionar aos estudantes uma compreensão mais profunda e significativa dos fenômenos astrofísicos envolvidos.

Além disso, ao participarem ativamente do processo de criação dos desenhos dos ciclos estelares, os alunos têm a oportunidade de construir e consolidar seus conhecimentos por meio do levantamento dos subsunçores, ou seja, a identificação e associação dos novos conceitos aos conhecimentos prévios já existentes. Assim, os desenhos dos ciclos estelares desempenham um

papel crucial no enriquecimento da aprendizagem e no desenvolvimento da compreensão conceitual em física moderna. De acordo com Da Silva, 2021.

A utilização dessas atividades de aprendizagem, trabalhando a parte cognitiva e persuasiva dos alunos, contribui para uma aprendizagem mais eficiente. Através da confecção dos mapas mentais, aquele conteúdo antes chamado de “inacessível”, geralmente apresentado pelo método tradicional de ensino, passa a despertar maior interesse, dado que, além de tirar aquele acúmulo de conteúdos abordado, cria-se, também, uma facilidade, pela simples organização de ideias, como também a produção de desenhos, imagens, entre outros, em uma simples folha, estimulando a sua criatividade. Ao produzir o mapa mental, a facilidade é tamanha que conceitua até um assunto mais complexo – a percepção que este se torna mais fácil após uma organização de ideias. (DA SILVA, p. 4, 2021)

Infelizmente durante a aplicação não se conseguiu realizar as fotografias dos desenhos das estrelas feitas pelos alunos, pois os mesmos permaneceram em seus cadernos para as posteriores anotações que surgissem no formato da aula, e para que então os mesmos pudessem reformular seus próprios desenhos de acordo com o desenvolvimento da sequência. Abaixo registramos na Figura 10, o momento em que os alunos se apresentam concentrados nos desenhos proposto pelo *Mão na Massa*.

Figura 9: População de estudo no momento de enriquecimento dos subsunçores para o discorrer da sequência didática.



Fonte: Próprio Autor

Tabela 6: 2ª Sequência didática utilizada no segundo encontro juntamente com a população de estudo.

Segunda e Terceira aula (120 min)
PRÉ-AULA: Assistir ao vídeo no Youtube sobre Formação e Massas das estrelas. Disponível no Link: https://youtu.be/ZMKjm41mwJk
AULA: Iniciaremos a aula com uma pequena revisão sobre o que foi feito e as conclusões que os alunos chegaram na última aula, na tentativa de revisar o conteúdo exposto, criando assim uma ponte com o conteúdo que será apresentado nessa aula. Questionar-se-á ao aluno se depois da execução dos pós aula e da pré-aula de hoje, os alunos conseguiram ver muita diferença do desenho que foi feito com a sua nova percepção sobre o nascimento das estrelas. Anunciando que pela primeira vez, os alunos verão a simulação de um buraco negro. E que este por sua vez será apresentado na próxima aula. Após isso, o professor se utilizará de uma apresentação do powerpoint de maneira lúdica e com muitas imagens para tentar trazer do abstrato as percepções acerca do universo, para que assim os alunos usem da visão para aguçar a sua curiosidade, como previsto no escopo teórico da TAS.
MÃO NA MASSA: Para essa aula os alunos deverão construir um mapa mental em papel de fichamento, dessa vez com a nova percepção sobre a evolução das estrelas.
FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com uma exposição dialogada com os alunos sobre o tema, fazendo uma revisão sobre o que foi abordado na aula de hoje, e sobre as evoluções dos desenhos para os planos de aula.
PÓS-AULA: Postar uma foto dos seus mapas mentais nas redes sociais.

Fonte: Próprio Autor

Figura 10: Exposição dialogada com uso de apresentação do Power Point para apresentação dos conteúdos



Fonte: Próprio Autor

As apresentações de slides têm se mostrado uma ferramenta pedagógica valiosa no ensino de física, uma vez que permitem o uso de todos os fatores sensoriais do aluno para a construção do conhecimento. Ao combinar elementos visuais, auditivos e, em alguns casos, táteis, as apresentações de slides proporcionam uma experiência de aprendizagem mais rica e significativa. Através de imagens, gráficos, animações e vídeos, os conceitos abstratos da física podem ser ilustrados e visualizados de forma concreta, tornando-os mais compreensíveis para os estudantes. Além disso, o uso de elementos sonoros, como narração ou música de fundo, pode estimular a audição dos alunos e reforçar a assimilação dos conteúdos. Ao incorporar todos esses fatores sensoriais nas apresentações de slides, os educadores podem engajar os alunos de maneira mais efetiva, promovendo uma aprendizagem mais profunda e duradoura.

O uso de mapas mentais revela-se de extrema importância no contexto educacional, pois permite a aplicação das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) e a promoção da aprendizagem significativa. Essa ferramenta gráfica e visual facilita a organização e conexão dos conteúdos, possibilitando aos alunos a construção de relações entre ideias e conceitos, bem como a identificação de padrões e estruturas relevantes.

Através dos mapas mentais, os estudantes são incentivados a relacionar novos conhecimentos com suas experiências prévias, fomentando a criação de significados pessoais e a

ancoragem dos conteúdos em suas estruturas cognitivas. Dessa forma, o uso de mapas mentais alinha-se perfeitamente com a abordagem da aprendizagem significativa de Ausubel, proporcionando um ambiente propício para a compreensão profunda e duradoura dos conteúdos, além de potencializar a construção de conhecimento com base na estrutura de conhecimentos prévios dos alunos.

O uso de mapas mentais também está intimamente relacionado aos subsunçores no processo de aprendizagem. Os subsunçores são os conhecimentos prévios ou conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno. Ao elaborar e utilizar mapas mentais, os estudantes têm a oportunidade de identificar seus subsunçores relevantes e, assim, conectar os novos conteúdos a esse conhecimento prévio. De acordo com Saraiva, 2017

Com esta ideia, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) proposta por David Ausubel vai se concretizando quando o conteúdo apresentado pelo professor passa a se conectar ao que o discente já conhece, favorecendo um conceito relevante, promovendo uma facilidade na aquisição deste conhecimento, considerando todos os fatores que rondam a sala de aula e que possam influenciar na qualidade da aprendizagem. (SARAIVA, et all, 2017).

Ao fazer essas conexões significativas, os mapas mentais atuam como um mecanismo que ajuda a consolidar e expandir os subsunçores existentes, construindo uma rede de informações mais elaborada e abrangente. Dessa forma, os mapas mentais permitem que os subsunçores sejam ativados e integrados ao processo de aprendizagem, contribuindo para uma compreensão mais profunda e significativa dos conceitos apresentados. A interação entre os mapas mentais e os subsunçores potencializa a aprendizagem, tornando-a mais personalizada, envolvente e efetiva.

Figura 11: Explicação dialogada a respeito de como acontece os processos de difusão de uma estrela e quais os seus possíveis fins



Fonte: Próprio Autor

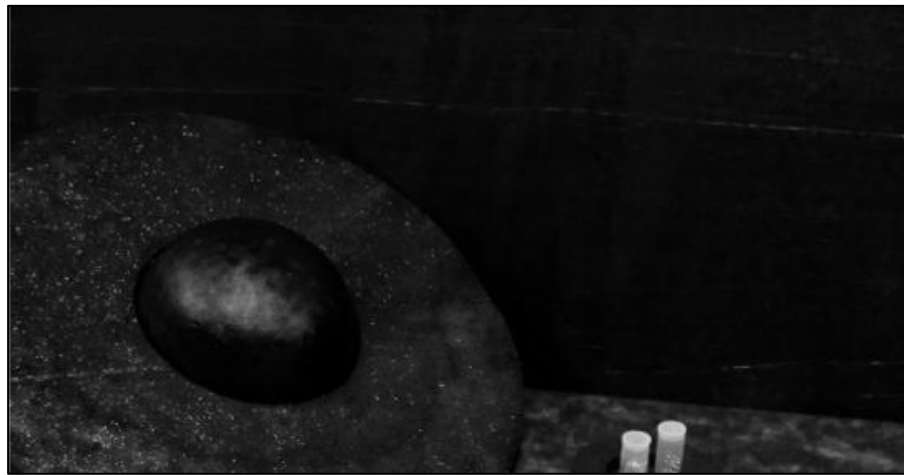
Tabela 7: 3ª Sequência didática utilizada no segundo encontro juntamente com a população de estudo.

Quarta e Quinta aula (120 min)
PRÉ-AULA: Assistir ao vídeo no Youtube sobre Evolução Estelar. Disponível no Link: https://youtu.be/n6ju2MLxIUI
AULA: Iniciaremos a aula perguntando aos alunos quantas bilhões de estrelas eles acreditam que exista no nosso sistema solar, a ideia é trazer a reflexão de que o nosso sistema solar tem apenas uma estrela, o SOL.
MÃO NA MASSA: Nessa aula os alunos receberão isopor, tinta guache e pincéis, e deverão construir um protótipo de um buraco negro tridimensional.
FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com a aplicação do produto educacional, o protótipo que simulará a execução do buraco negro. Faremos um link de informação de como uma nuvem em contração pode vir a se tornar uma anã branca e como pode se tornar um buraco negro.

PÓS-AULA: Os alunos deverão escrever um pequeno texto de no mínimo 10 linhas de como eles imaginam ser o interior de um buraco negro, e se é possível viajar a uma outra dimensão através dele, como preveem muitas ficções científicas no ramo cinematográfico.

Fonte: Próprio Autor

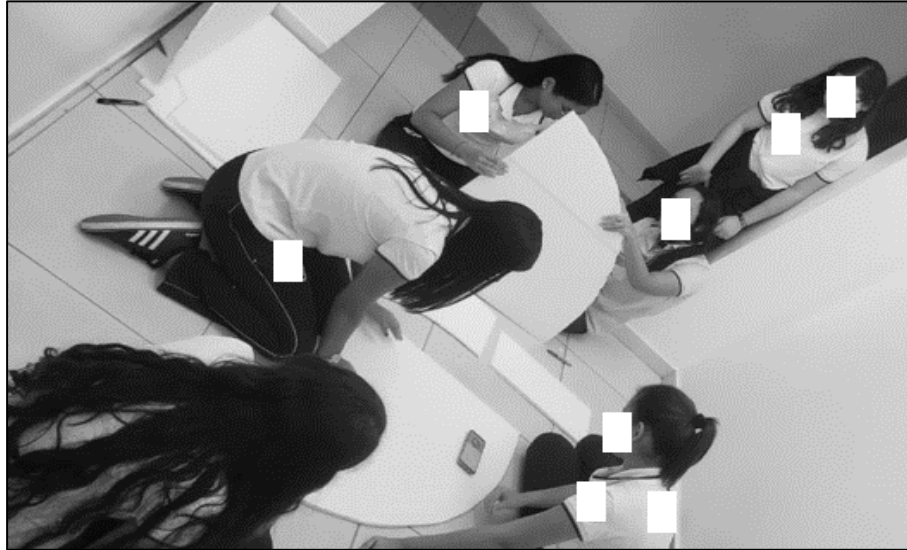
Figura 12: Maquete feita pelos alunos com folhas de isopor e afins para demonstração de um buraco negro tridimensional



Fonte: Próprio Autor

As maquetes feitas de isopor se destacam como uma ferramenta altamente benéfica na simulação de estrelas e buracos negros no contexto do ensino de física moderna. Essas representações tridimensionais proporcionam uma abordagem tangível e visualmente atrativa para apresentar conceitos complexos e abstratos do universo astrofísico.

Figura 13: Alunos durante a execução do Mão na massa, construindo uma exemplificação de um buraco negro tridimensional.



Fonte: Próprio Autor

Através das maquetes, os estudantes podem visualizar de forma concreta as características das estrelas, como sua formação, evolução e fenômenos associados, bem como compreender a estrutura e os efeitos dos buracos negros.

A natureza tátil das maquetes permite que os alunos explorem e interajam com os modelos, favorecendo a compreensão conceitual por meio da aprendizagem experiencial. Além disso, as maquetes de isopor podem ser facilmente adaptadas e personalizadas, tornando-se uma ferramenta versátil e flexível para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem. Ao utilizar maquetes de isopor para simulação de estrelas e buracos negros, os educadores criam uma experiência educativa mais imersiva, que estimula o interesse, a curiosidade e o engajamento dos alunos, resultando em uma aprendizagem mais significativa e duradoura.

O uso de experimentos para exemplificar os buracos negros representa uma estratégia valiosa no ensino de física moderna. Ao proporcionar uma abordagem prática e concreta, os experimentos permitem que os alunos vivenciem, de forma controlada e segura, fenômenos relacionados aos buracos negros. Através dessas atividades experimentais, os estudantes podem observar e analisar as propriedades singulares desses objetos astronômicos, compreendendo conceitos como a curvatura do espaço-tempo, a singularidade e o horizonte de eventos. Além disso,

os experimentos permitem que os alunos explorem as implicações da teoria da relatividade geral de Einstein e sua relação com os buracos negros. Dessa forma, ao utilizar experimentos para exemplificar os buracos negros, os educadores enriquecem a experiência educacional, estimulando o pensamento crítico, a curiosidade científica e o interesse pela física moderna. Essa abordagem prática e interativa promove uma aprendizagem mais significativa e estimula os alunos a desenvolverem uma compreensão mais profunda e conceitualmente sólida sobre esse intrigante fenômeno cósmico.

Figura 14: Momento da experiência onde os alunos simulam o funcionamento de um vórtice de buraco negro usando materiais de baixo custo



Fonte: Próprio Autor

Figura 15: Momento de tira dúvidas e produção com professor regente da sala, atuante de maneira direta na aplicação do produto.



Fonte: Próprio Autor

Tabela 8: 4ª sequências didáticas utilizada no segundo encontro juntamente com a população de estudo.

Sexta Aula (120 min)
PRÉ-AULA: Os alunos deverão revisar os conteúdos abordados na aplicação da oficina para realização do pós-teste.
AULA: A aula será a aplicação do pós-teste, que será o mesmo formulário de aplicação do pré-teste, todavia os alunos só descobrirão isso no momento de realização do teste. Para tanto, utilizaremos o laboratório de informática da instituição.
MÃO NA MASSA: Resolução do pós-teste.
FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com uma revisão dialogada de todo conteúdo proposto até aqui, e com os agradecimentos aos alunos por participarem da pesquisa.
PÓS-AULA: Não há pós aula previsto para esse dia, dado o término de aplicação da sequência didática.

Fonte: Próprio Autor

A aplicação de um formulário pós-teste é de extrema importância para medir a aprendizagem significativa no processo educacional. Esse instrumento de avaliação permite que os educadores avaliem o nível de compreensão e retenção dos conteúdos pelos alunos após a intervenção pedagógica. Ao comparar os resultados obtidos no pós-teste com os dados do pré-teste, é possível identificar o progresso individual e coletivo dos estudantes, bem como analisar a eficácia das estratégias de ensino adotadas.

Além disso, o pós-teste é uma ferramenta valiosa para verificar se os conhecimentos foram realmente internalizados e se houve a construção de significados pessoais em relação aos conceitos abordados. Através desse feedback, os educadores podem ajustar suas abordagens pedagógicas, oferecendo suporte adicional aos alunos que ainda necessitam de reforço e aprimorando o planejamento para futuras intervenções educacionais. Em suma, a aplicação de um formulário pós-teste é fundamental para mensurar a aprendizagem significativa, garantindo uma avaliação mais abrangente e embasada do processo educacional.

Avaliação da UEPS

A avaliação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) segue um protocolo que se baseia na administração do questionário inicial, que é aplicado previamente à exposição dos conteúdos programáticos. Este processo avaliativo adota uma abordagem bidirecional, na qual os alunos são submetidos a avaliações tanto por meio da demonstração de seu progresso na resolução dos quizzes quanto por meio da comparação de seus desempenhos com os resultados obtidos no questionário inicial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAGNANO, Nicola. Dicionário de filosofia (Trad. Alfredo Bosi). 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

ALVARENGA, Flávio Gimenes; NETO, José Izaías Moreira Scherrer; COELHO, Geide Rosa. Processo de validação de uma sequência de ensino investigativa para o ensino de física moderna e contemporânea: da gravitação aos buracos negros. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 2, p. 66-90, 2022.

ALVES, R. M. M. et al. O Quiz como recurso pedagógico no processo educacional: apresentação de um objeto de aprendizagem. In: **XIII Congresso Internacional de Tecnologia na Educação. Pernambuco**. 2015.

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

AUSUBEL, David P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. **Lisboa: Plátano**, v. 1, 2003.

AUSUBEL, David P. The psychology of meaningful verbal learning. 1963.

AUSUBEL, David Paul et al. Educational psychology: A cognitive view. 1978.

AUSUBEL, David Paul. **The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view**. Springer Science & Business Media, 2012.

BARBOSA, Patrynie Garcia; AQUINO, Arthur Marques; CALHEIRO, Lisiane Barcellos. Representações sociais de alunos da educação básica sobre buracos negros. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 32, p. 135-142, 2020.

BARBOSA, Patrynie Garcia; AQUINO, Arthur Marques; CALHEIRO, Lisiane Barcellos. Representações sociais de alunos da educação básica sobre buracos negros. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 32, p. 135-142, 2020.

BERTATO, Fábio Maia et al. Lemaître e a sua histórica entrevista sobre a teoria do big bang – transcrição e tradução. **Revista Brasileira de História da Matemática**, v. 23, n. 46, p. 440-461, 2023.

BNCC. **Base Nacional Curricular Comum**. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br> acesso em: 23 de nov de 2021.

BOWERS, Richard L.; DEEMING, Terry. Astrophysics. **Boston: Jones and Bartlett**, 1984.

BRASIL. BNCC. Base Nacional Comum Curricular, 2017. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 17 de set de 2023..

DA ROSA, Cleci Werner; PEREZ, Carlos Ariel Samudio; DRUM, Carla. Ensino de física nas séries iniciais: concepções da prática docente. **Investigações em ensino de ciências**, v. 12, n. 3, p. 357-368, 2016.

DA SILVA, João Batista. David Ausubel's Theory of Meaningful Learning: an analysis of the necessary conditions. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. 3, 2020.

DA SILVA, Brenno Ramy Teodósio; VASCONCELOS, Ana Karine Portela; DE OLIVEIRA, Aurelice Barbosa. A utilização de mapas mentais no ensino-aprendizagem de ciências: um caso de alunos nos anos finais, numa escola privada em Fortaleza-Ceará. **Revista Prática Docente**, v. 6, n. 3, p. e096-e096, 2021.

DALFOVO, Michael Samir; LANA, Rogério Adilson; SILVEIRA, Amélia. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista interdisciplinar científica aplicada**, v. 2, n. 3, p. 1-13, 2008.

DE ALMEIDA, Luis Gustavo. EJECAO DE MASSA EM PROTO-ESTRELAS DE NÊUTRON INDUZIDA POR ESCAPE DE NEUTRINOS. **Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (MCT)**, p.1-133, 2022.

DE OLIVEIRA, Érik Rocha; DA COSTA PINHEIRO, Antônio Romero; LIMA, Carlos Henrique Moreira. Quiz com Aplicativo Socrative para o Desenvolvimento de Conceitos de Física Moderna. **Revista do Professor de Física**, v. 6, n. 3, p. 12-32, 2022.

DEXHEIMER, Veronica Antocheviz. Compressibilidade da matéria nuclear em estrelas de nêutrons. 2006.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; MOREIRA, M. A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O.; NOGUEIRA, D. X. N. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2021a. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0057>.

FERREIRA, M.; COUTO, R. V. L.; SILFA FILHO, O. L.; PAULUCCI, L.; MONTEIRO, F. F. Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. 43, p. 1-13, 2021b. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0157>.

FREITAS, Henrique et al. O método de pesquisa survey. **Revista de Administra&ccdeil; ão da Universidade de São Paulo**, v. 35, n. 3, 2000.

G. L. Pilbratt et al, Herschel Space Observatory: An ESA facility for far-infrared and submilli-metre astronomy. *A&A*, 518 L1, 2010.

GAMA, Marcelo Cristino. A Equação de Lane-Emden-Fowler em Teoria Clássica de Campos e Astrofísica Estelar. 2008.

GOMES, Érica Cupertino, et all. Uso de simuladores para potencializar a aprendizagem no ensino da física. Araguaína, TO. EDUFT, 2020.

GOMES, Hugo Ataiades; FERREIRA, Ivan Soares. Análise de protoestrelas com dados observacionais abertos. *Physicae Organum. Revista dos Estudantes de Física da UnB*, v. 3, n. 2, 2017.

GONÇALVES, Marina Paim. **Oficina astronômica: uma proposta de atividades utilizando materiais potencialmente significativos para ensino médio.** 2014.

GRIEBELER, Adriane. Inserção de tópicos de física quântica no ensino médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa. 2012.

GUIMARAES, Marcelo Medeiros. Estudos de eventos de acreção de matéria em estrelas pré-sequência principal Ae/Be de Herbig. 2004.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio Branco – Acre. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/rio-branco/panorama>>. Acesso em: 06 de agosto de 2023.

INSIDER, Tech. Conditions of A Black Hole Were Created In A Giant Bathtub. Disponível em: <https://youtu.be/XYiZW-j1ywc> . Acesso em: 28 de Nov. 2021

JOÃO, Herbert Alexandre. Aulas-oficina de física moderna integrando TIC e demonstração experimental. **Universidade Federal de São Carlos.** 2016.

JONCEW, Consuelo Chaves; CENDON, Beatriz Valadares; AMENO, Nádia. Websurveys como método de pesquisa. **Informação & Informação**, v. 19, n. 3, p. 192-218, 2014.

JORNAL UNESP. **Física de buracos negros pode ajudar a explicar engavetamentos no trânsito.** *Jornal UNESP.* [S.l.], 08 set. 2022. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2022/09/08/fisica-de-buracos-negros-pode-ajudar-a-explicar-engavetamentos-no-transito/>. Acesso em: 17 jul. 2023.

K. THORNE, *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy* (W.W. Norton & Company, New York, 1994)

MIDDLESEX. Middlesex 2020. Find your promise. Disponível em: <https://www.mxschool.edu/about-mx/mission-and-history/>. Acesso em: 24 de março de 2020.

MOREIRA, Marco A. *A Teoria da Aprendizagem Significativa Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências.* Porto Alegre, Brasil, 2016.

MOREIRA, Marco Antônio. *Aprendizagem significativa em mapas conceituais.* Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013.

MOREIRA, Marco Antonio. *Aprendizagem significativa, campos conceituais e pedagogia da autonomia: implicações para o ensino.* **Anais online do IX Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade**, p. 4, 2015.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem significativa. Brasília: Ed. da UnB, 1998. <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>> Acesso em: 04 out.2020.

MOREIRA, Marco Antonio. Unidades de enseñanza potencialmente significativas–UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011.

NASA. **Webb Celebrates First Year of Science with New Image**. Disponível em: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2023/webb-celebrates-first-year-of-science-with-new-image>. Acesso em: 30 jul. 2023.

NETO, João Pereira; TEIXEIRA, Ricardo Roberto Plaza. Uso de vídeos em atividades de divulgações científica sobre buracos negros e ondas gravitacionais. **Revista Hipótese**, p. e022003-e022003, 2022.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira de; VIANNA, Deise Miranda; GERBASSI, Reuber Scofano. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, p. 447-454, 2007.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em ensino de ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2016.

PELIZZARI, Adriana et al. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **revista PEC**, v. 2, n. 1, p. 37-42, 2002.

PEREIRA, Denis Rafael de Oliveira; AGUIAR, Oderli. Ensino de física no nível médio: tópicos de física moderna e experimentação. **Revista Ponto de Vista**, v. 3, n. 1, p. 65-81, 2006.

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

SARAIVA, FranciscoAlberto. Concentração de Soluções no Ensino Médio: **O uso de Atividades Experimentais para uma Aprendizagem Significativa**. 2017. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <http://pgecm.fortaleza.ifce.edu.br/wp-content/uploads/2017/06/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Alberto-Saraiva-2017.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2021

SARAIVA, Maria de Fátima. **Etapas Evolutivas das Estrelas**. Disponível em: www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/estrelas.htm. Acesso em: 26 Nov. 2021.

SCHINZEL, Guilherme Henrique. Buracos negros: uma proposta de sequência didática em forma de UEPS para o Ensino Médio. 2022.

SEEL, Norbert M. (Ed.). **Encyclopedia of the Sciences of Learning**. Springer Science & Business Media, 2011.

SILVA, S. M. et al. O Uso do Questionário Eletrônico na Pesquisa Acadêmica: Um Caso de Uso na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, II Semead – Seminários em Administração do Programa de Pós-Graduação em Administração da FEA/USP, 1997. p.408- 421.

SOARES, Domingos. De Schwarzschild a Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020.

SOBRINHO, J. L. G. Estrelas: origem, evolução e morte. Formação Contínua de docentes: Introdução à Astronomia, 17pp, **Universidade da Madeira** (2013) http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Publicacoes/Abstracts/pu_b2013estrelas2.htm, 2013.

SOUZA, Graziela Ferreira; PINHEIRO, Nilcéia Aparecida Maciel. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) na pesquisa brasileira: identificando tendências e traçando possibilidades, **Revista Tecné, Episteme y Didaxis**. 2018.

STEINER, João E. Buracos Negros: sementes ou cemitérios de galáxias. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 4, p. 723-742, 2010.

TEIXEIRA, Joel Antônio. Existência de soluções positivas para sistemas de Lane-Emden. 2019.

W. J. Maciel, Introdução à Estrutura e Evolução Estelar. **Editora da Universidade de São Paulo**, 1999.

Apêndice A

SEQUÊNCIA DIDÁTICA - APLICAÇÃO DO PRODUTO

PROFESSOR(A): José Francisco da Silva Nunes
ORIENTADOR: Prof. Dr. Luis Gustavo de Almeida
COMPONENTE CURRICULAR: FÍSICA

ANO/TURMA: 2ª Série – EM

AULAS PREVISTAS: 6

DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA MÊS _____

AULA 01 – DATA: __/__/____ (x) Síncrona () Assíncrona	
OBJETO DO CONHECIMENTO	1. Introdução a evolução estelar
HABILIDADES	<ul style="list-style-type: none">• (EF09CI17) Analisar o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) baseado no conhecimento das etapas de evolução de estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta.• (EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.• Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Compreender conceitos fundamentais e estruturas explicativas das Ciências da Natureza, bem como dominar processos, práticas e procedimentos da investigação científica, de modo a sentir segurança no debate de questões científicas, tecnológicas, socioambientais e do mundo do trabalho, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.

PRÉ-AULA: Os alunos deverão acessar o formulário disponível no google forms, para levantamento dos subunçores.

AULA: O professor contará com alguns recursos de imagens e vídeos para mostrar aos alunos, sem contar qual será o conteúdo abordado, na ideia de gerar uma expectativa pelo conteúdo que será apresentado. A ideia é despertar a curiosidade e aguçar os subunçores levantados na aplicação do pré-teste. Logo depois, começará uma exposição dialogada sobre o que eles viram, e com essa conversa, determinar de maneira intrínseca os conhecimentos prévios dos alunos.

MÃO NA MASSA: Um desafio para que os alunos em uma folha em branco, desenhem, sem pesquisar, como eles acham que é o ciclo de vida de uma estrela.

FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com uma exposição dialogada revisada a respeito dos conteúdos que foram abordados no primeiro encontro. Com uma pequena abertura para que os alunos falem sobre a experiência de responderem ao pré-teste.

PÓS-AULA: Como pós-aula os alunos deverão assistir a qualquer vídeo de seu interesse no youtube que fale a respeito do ciclo de uma estrela até que ela se torne um buraco negro.

AULA 02 e 03 – DATA: ___/___/___ (x) Síncrona () Assíncrona	
OBJETO DO CONHECIMENTO	2. Formação e Massas das estrelas
HABILIDADES	<ul style="list-style-type: none"> • (EF09CI17) Analisar o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) baseado no conhecimento das etapas de evolução de estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta. • (EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas. • Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.

PRÉ-AULA: Assistir ao vídeo no Youtube sobre Formação e Massas das estrelas. Disponível no Link: <https://youtu.be/ZMKjm41mwJk>

AULA: Iniciaremos a aula com uma pequena revisão sobre o que foi feito e as conclusões que os alunos chegaram na última aula, na tentativa de revisar o conteúdo exposto, criando assim uma ponte com o conteúdo que será apresentado nessa aula. Questionar-se-á ao aluno se depois da execução do pós aula e da pré aula de hoje, os alunos conseguiram ver muita diferença do desenho que foi feito com a sua nova percepção sobre o nascimento das estrelas. Anunciando que pela primeira vez, os alunos verão a simulação de um buraco negro. E que este por sua vez será apresentado na próxima aula.

Após isso, o professor se utilizará de uma apresentação do powerpoint de maneira lúdica e com muitas imagens para tentar trazer do abstrato as percepções acerca do universo, para que assim os alunos usem da visão para aguçar a sua curiosidade, como previsto na escopo teórico da TAS.

MÃO NA MASSA: Para essa aula os alunos deverão construir um mapa mental em papel de fichamento, dessa vez com a nova percepção sobre a evolução das estrelas.

FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com uma exposição dialogada com os alunos sobre o tema, fazendo uma revisão sobre o que foi abordado na aula de hoje, e sobre as evoluções dos desenhos para os planos de aula.

PÓS-AULA: Postar uma foto dos seus mapas mentais nas redes sociais.

AULA 04 e 05 – DATA: ____/____/____ (x) Síncrona () Assíncrona	
OBJETO DO CONHECIMENTO	3. Anãs brancas, Estrelas de nêutrons e Buracos negros (evolução final)
HABILIDADES	<ul style="list-style-type: none"> ● (EF09CI17) Analisar o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) baseado no conhecimento das etapas de evolução de estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta. ● Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e inventar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas. ● Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Compreender conceitos fundamentais e estruturas explicativas das Ciências da Natureza, bem como dominar processos, práticas e procedimentos da

	<p>investigação científica, de modo a sentir segurança no debate de questões científicas, tecnológicas, socioambientais e do mundo do trabalho, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.</p>
<p>PRÉ-AULA: Assistir ao vídeo no Youtube sobre Evolução Estelar. Disponível no Link: https://youtu.be/n6ju2MLxIUI</p> <p>AULA: Iniciaremos a aula perguntando aos alunos quantas bilhões de estrelas eles acreditam que exista no nosso sistema solar, a ideia é trazer a reflexão de que o nosso sistema solar tem apenas uma estrela, o SOL.</p> <p>MÃO NA MASSA: Nessa aula os alunos receberão bolinhas de isopor, tinta guache e pincéis, e deverão construir uma protótipo da nossa Anã Amarela, o SOL.</p> <p>FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com a aplicação do produto educacional, o protótipo que simulará a execução do buraco negro. Faremos um link de como uma nuvem em contração pode vir a se tornar uma anã branca e como pode se tornar um buraco negro.</p> <p>PÓS-AULA: Os alunos deverão escrever um pequeno texto de no mínimo 10 linhas de como eles imaginar ser o interior de um buraco negro, e se é possível viajar a uma outra dimensão através dele, como prevêm muitas ficções científicas no ramo cinematográfico.</p>	

<p>AULA 06 – DATA: ____/____/____ (x) Síncrona () Assíncrona</p>	
<p>OBJETO DO CONHECIMENTO</p>	<p>4. Aferição dos objetivos de aprendizagem</p>
<p>HABILIDADES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.

PRÉ-AULA: Os alunos deverão revisar os conteúdos abordados na aplicação da oficina para realização do pós-teste.

AULA: A aula será a aplicação do pós-teste, que será o mesmo formulário de aplicação do pré-teste, todavia os alunos só descobrirão isso no momento de realização do teste. Para tanto, utilizaremos o laboratório de informática da instituição.

MÃO NA MASSA: Resolução do pós-teste.

FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com uma revisão dialogada de todo conteúdo proposto até aqui, e com os agradecimento aos alunos por participarem da pesquisa.

PÓS-AULA: Não há pós aula previsto para esse dia, dado o término de aplicação da sequência didática.

Apêndice B

Questionário Pré teste e Pós Teste

Caríssimo (a) aluno, este questionário faz parte de um levantamento realizado pelo mestrando José Francisco da Silva Nunes, discente do Mestrado Nacional Profissional do Ensino de Física (MNPEF). Um dos seus principais objetivos consiste em buscar subsídios para o entendimento do seu cognitivo a respeito do conteúdo de física moderna. E, subsidiar a construção de novas metodologias de execução para o ensino, que tenham como preocupação assegurar o ensino aprendizagem com qualidade. As informações que você registrará servirão de base para um diagnóstico, cujo objetivo é levantar um perfil cognitivo do seu entendimento sobre física moderna Buracos Negros. Suas respostas são importantes para compormos um quadro avaliativo da situação e dos desafios enfrentados no seu cotidiano de estudante. Os dados que nos forem apresentados neste questionário não serão divulgados individualmente, sendo tratados somente por processos estatísticos e relatórios analíticos. Desde já agradecemos a sua colaboração e nos colocamos a sua disposição para quaisquer dúvidas e/ou informações complementares.

Em caso de aceite com os termos supracitados, selecione a opção ACEITO. Em discordância do método exposto, por favor marcar DISCORDO.

() ACEITO

() DISCORDO

Que dia você está realizando este teste ?

Exemplo: 7 de janeiro de 2019

1 - As estrelas passam a maior parte do tempo na fase de:

Marcar apenas uma oval.

Gigante Vermelha

Sequência principal

Anã castanha

Gigante azul

Outro: _____

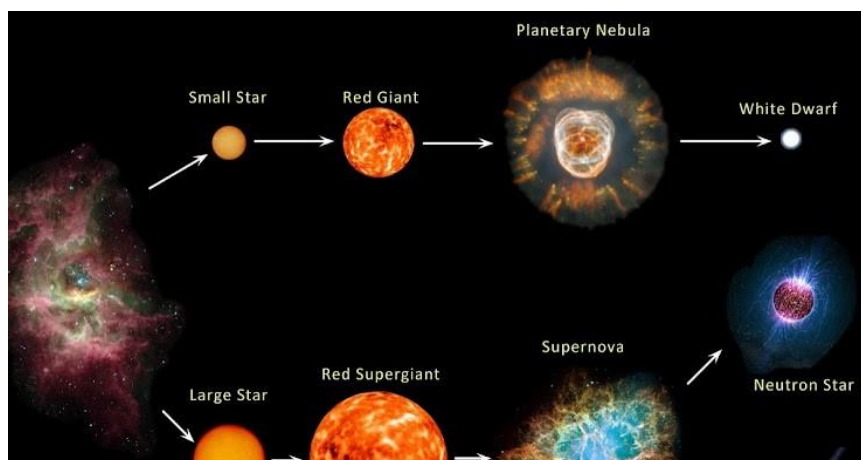
Quando é que a estrela em formação começa a brilhar?

Relacione as colunas abaixo de acordo com cada conceito

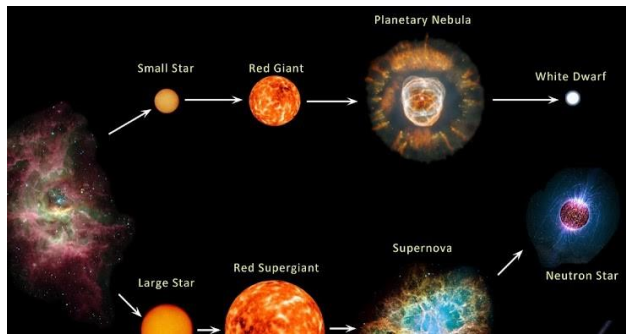
Marcar apenas uma oval por linha.

Alternativas	Verdadeiro	Falso	Incorreto	Correto
Uma estrela nasce de uma nuvem gasosa				
Uma estrela emite radiação apenas devido às altas temperaturas em seu interior.				
Quando uma estrela evolui para uma gigante vermelha estará a poucos segundos de sua morte.				
O Sol é uma estrela considerada como anã branca.				

1. Descreva de forma resumida a evolução estelar.



2. Descreva de forma resumida a evolução estelar.



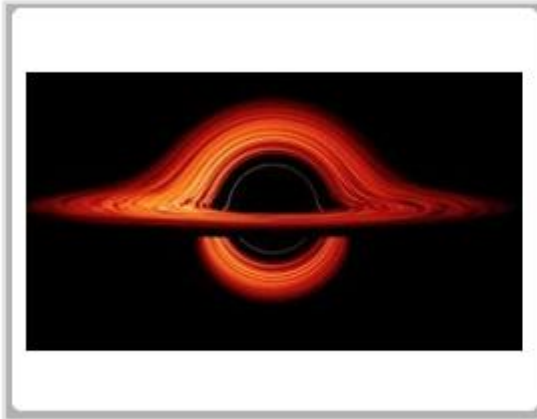
3. Nas estrelas, o que você entende por Anãs Brancas?



4. Analise as afirmativas abaixo, e marque a alternativa correta para o conceito de Estrelas de Nêutrons.

- a) Estrela de nêutrons é um estágio na vida de estrelas muito grandes que, depois de consumir todo o hidrogênio em seu núcleo e explodir em uma supernova, pode virar um corpo celeste extremamente denso e compacto onde não há mais átomos, mas um aglomerado de nêutrons. Por isso o nome: estrela de nêutrons.
- b) Estrelas que estão produzindo reações termonucleares no seu núcleo.
- c) São originadas de estrelas com massas inferiores a massa do Sol.
- d) Estrela muito menor que as estrelas comuns e com um brilho pequeno se comparado às demais. Ela representa o estágio após a morte de uma estrela que não era massiva o suficiente para virar uma supernova, e que acabou se transformando em uma nebulosa planetária.

5. Qual das imagens abaixo é a representação mais próxima de um buraco negro?



Opção 1



Opção 2



Opção 3



Opção 4

6. As estrelas formam-se a partir da contração dos gases e poeiras existentes nas:
- a) Anãs castanhas
 - b) Nebulosas planetárias Nuvens
 - c) Nuvens interestelares
 - d) Gigantes Vermelhas
7. O Sol, depois de passar a fase de gigante vermelha, em que se torna?
8. 10 - O que é uma nebulosa planetária?