

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ
ESCOLA POLITÉCNICA DE SAÚDE JOAQUIM VENÂNCIO
LABORATÓRIO DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL EM TÉCNICAS LABORATORIAIS
EM SAÚDE

Adriana Miranda de Oliveira

DAS PARTÍCULAS AS WOLF-RAYET:
uma pesquisa sobre os Buracos Negros

Rio de Janeiro

2011

Adriana Miranda de Oliveira

DAS PARTÍCULAS AS WOLF-RAYET:
uma pesquisa sobre os Buracos Negros

Projeto de trabalho de conclusão de curso
apresentado à Escola Politécnica de Saúde
Joaquim Venâncio como requisito parcial para
a aprovação no curso técnico em nível médio
com habilitação em Análises Clínicas.

Orientador: Jairo Dias de Freitas

Rio de Janeiro

2011

Adriana Miranda de Oliveira

DAS PARTÍCULAS AS WOLF-RAYET:
uma pesquisa sobre os Buracos Negros

Projeto de trabalho de conclusão de curso
apresentado à Escola Politécnica de Saúde
Joaquim Venâncio como requisito parcial para
a aprovação no curso técnico em nível médio
com habilitação em Análises Clínicas.

Aprovado em 14/12/2011

BANCA EXAMINADORA

(Dr. Jairo Dias de Freitas – FIOCRUZ / EPSJV / LABFORM)

(Dra. Tânia de Oliveira Camel – FIOCRUZ / EPSJV / LABFORM)

(Ms. Karla Martins Bezerra – FIOCRUZ / EPSJV / LABFORM)

Sim bem primeiro nasceu Caos

(Hesíodo)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um estudo acerca dos buracos negros. Para que fosse possível sua realização foram conceitos de Física Moderna, como a Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein, a Mecânica Quântica e os ciclos de desenvolvimento das estrelas. Após a reunião destes campos de conhecimentos foi possível compreender e apresentar dois tipos de buracos negros provenientes das equações de campo da Teoria da Relatividade Geral, suas características e distinções entre si. Ao final do estudo foi realizada uma pesquisa qualitativa, usando como base o método de análise de conteúdo de Laurence Bardin, no *site* da revista de divulgação científica “Ciência Hoje”. A partir da pesquisa foi possível realizar uma análise crítica e observar a existência de padrões, e destes foi transitável criar-se categorias sobre as reportagens. Estas categorias refletem a forma como os buracos negros são vistos e retratados pela mídia, assim como a relevância e nível de conhecimento teórico e histórico que são apresentados nas reportagens. Aponta-se uma mudança na forma como os buracos negros são retratados, devido as recentes descobertas que foram realizadas sobre este tema, consequência do avanço tecnológico, trazendo uma revolução no conceito de buracos negros.

Palavras-Chave: Buracos Negros, Desenvolvimento Estelar, Teoria Geral da Relatividade, Gravidade.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 Organograma de Desenvolvimento Estelar 20

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Exemplo de Raios de Schwarzschild 29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Exemplo de Raios de Schwarzschild 26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Onda Luminosa 14

Figura 2 Espectro Eletromagnético 15

Figura 3 Analogia da Lâmina de Borracha 17

Figura 4 Diagrama de Hertzsprung-Russell 21

Figura 5 Buraco Negro de Schwarzschild 28

Figura 6 Buraco Negro Giratório 30

LISTA DE SIGLAS

Be	Berílio
c	Velocidade da luz no vácuo
C	Carbono
C*	Carbono instável
cm	Centímetro
D	Deutério
G	Gravidade
H	Hidrogênio
He	Hélio
LHC	Large Hadron Collider
m	Metro
m^3	Metro Cúbico
M	Massa
n	Neutrôn
NASA	National Aeronautics and Space Administration
Kg	Quilograma
Km	Quilometro
PDF	Portable Document Format
r_s	Raio de Schwarzschild
T	Trítio
Ve	Velocidade de Escape
M	Massa do Buraco Negro
Q	Carga elétrica do Buraco Negro
J	Momento angular do Buraco Negro

LISTA DE SÍMBOLOS

M_{\odot} Massa Solar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 FUNDAMENTOS DA FÍSICA MODERNA	12
3 DESENVOLVIMENTO ESTELAR	29
4 OS BURACOS NEGROS	26
4.1 BURACO NEGRO DE SCHWARZSCHILD	27
4.2 BURACO NEGRO GIRATÓRIO	29
5 PESQUISA NA REVISTA “CIÊNCIA HOJE”	32
5.1 INTRODUÇÃO À PESQUISA	32
5.2 ANÁLISE DOS DADOS	32
5.2.1 O Termo “Buracos Negros”	33
5.2.2 O Termo “Buraco Negro”	38
5.3 CONCLUSÕES ACERCA DA PESQUISA	39
6 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O desconhecido sempre fascinou o ser humano durante toda sua história. Poucos não foram os casos onde a vontade de saber foi mais forte que a cautela pela vida. Exploradores, filósofos, navegadores, cientistas, em diversos momentos da história viveram para desvendar, descobrir, achar, conhecer, todos eles movidos pelo desejo de conhecer (SAGAN, 1980).

O universo, antes mesmo de ser estudado a fundo, já despertava a curiosidade do ser humano. As estrelas, que correspondem a grande parte do elemento visível, que o compõem, exerciam encanto. Exemplos históricos deste fato são: os antigos Gregos que contavam suas histórias através das constelações, onde viam deuses, heróis e monstros; os antigos Egípcios que em alguns momentos de sua história adoraram o Sol como deus; a Civilização Maia, que desenvolveu um calendário baseado no Sol. Diversos foram os povos que ao longo de sua história tiveram o universo como parte de sua cultura.

No século XVII, gradativamente com o desenvolvimento da Ciência Moderna, o Universo foi sendo desmistificado, e a noção de estrelas que regiam a vida dos homens foi relativizada. Porém, mesmo com o advento da racionalidade, e talvez por este mesmo motivo, o universo não deixou de fascinar o ser humano.

A física clássica, que rege o comportamento do dia-a-dia newtoniano, é válida e extremamente precisa, mas quando colocada diante de problemas que envolvem velocidades muito altas ou distâncias astronômicas, não é capaz de resolvê-los sem considerar a teoria da relatividade. É a partir dela que se reinterpreta o conceito de matéria e de energia. Já nas questões microscópicas e da radioatividade é a mecânica quântica que melhor os descreve (CARRON; GUIMARÃES; 2006).

A física do século XX, denominada Física Moderna, tem como alicerces a relatividade, que forneceu a estrutura teórica para a compreensão do Universo em escala macroscópica – estrelas, galáxias, etc. -, e a mecânica quântica, que forneceu a estrutura teórica para a compreensão do Universo em escalas microscópica – partículas elementares, átomos, etc. (CARRON; GUIMARÃES; 2006).

De um lado tem-se o limite do extremamente grande, a idade e tamanho do Universo – são questões cosmológicas, em que aplica-se a relatividade geral; do outro tem-se a abordagem do extremamente pequeno, o limite do observável na matéria, onde reina o

princípio da incerteza proposto por Heisenberg e que é um dos pilares da mecânica quântica. As duas teorias se complementam, mas não estão unificadas, os buracos negros podem ser o objeto que irá unificar as teorias, pois é nele que a relatividade geral deixa de ser perfeitamente aplicável e que surge uma possível ligação com a Mecânica Quântica (PARKER, 1990).

É inegável que o buraco negro em muito podem colaborar para o progresso de nossos conhecimentos acerca do mistério do Universo. De tal forma ele distorce o tempo e o espaço que suas propriedades básicas realçam-se nitidamente. Mas o buraco negro nos leva ao confronto com outras dificuldades que, apesar de problemáticas podem lançar alguma luz sobre os nossos conceitos de tempo, espaço, causalidade e o princípio e o fim do universo. E a partir desse maior esclarecimento seria até possível compreender melhor o desenvolvimento passado do ser humano. (TAYLOR, 1980, p.)

Os buracos negros são formados pelo colapso de uma estrela de grande massa, cerca de mais de vinte e cinco vezes a massa do Sol, e seu campo gravitacional é tão forte que a velocidade necessária para não se ficar preso em sua gravidade, a velocidade de escape, é superior a velocidade da luz (NICOLSON,1983).

A invenção do telescópio, objeto que permite estender a capacidade de visão dos olhos humanos, foi um grande salto para o estudo do espaço. A luneta astronômica ou telescópio foi utilizada para fins astronômicos pela primeira vez em 1609, por Galileu Galilei (1564-1642). Com este objeto foi possível estudar mais profundamente os fenômenos cósmicos. (SAGAN, 1980)

Em 1783, John Michell (1724-1793), descreveu pela primeira vez um conceito de buraco negro, baseado na física newtoniana. Este seria um corpo tão massivo que a velocidade de escape em sua superfície seria superior a velocidade da luz. Um pouco depois de apresentar sua teoria à *Royal Society*, Michell posteriormente contemplou a existência de uma estrela, que lhe permitiu corroborar sua teoria de que o campo gravitacional seria tão forte em sua superfície que a velocidade de escape excederia a velocidade da luz (ELLIS, 1999).

Em 1796, Pierre Simon Laplace (1749-1827), levantou a mesma teoria que Michell sobre os corpos de grande densidade, entretanto o tema não recebeu grande atenção da comunidade científica. Já em 1915, Karl Schwarzschild (1873-1916) publica sua resolução das equações de campo da Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein (1879-1955), provando a hipótese levantada por Michell e Laplace. Alguns anos depois John Archibald

Wheeler (1911-2008) cunhou o termo Buraco Negro, do inglês *Black Hole*, para estes corpos tão densos que nem a luz pode escapar (HECKERT, 2007).

O objetivo deste trabalho é desenvolver um estudo a respeito dos buracos negros a partir de sites científicos, sites didáticos, revistas científicas, livros didáticos, livros específicos sobre o assunto e atlas. Também analisa-se materiais iconográficos, documentários e fotografias.

No primeiro capítulo são apresentados os elementos que formaram os alicerces do desenvolvimento da Teoria da Relatividade Geral, da Mecânica Quântica e das radiações eletromagnéticas, campos da física de extrema importância para o entendimento dos buracos negros.

No segundo capítulo trata-se do desenvolvimento estelar, estes são os corpos que apresentam a maior possibilidade, aceita pela física teórica atual, de tornarem-se um buraco negro. Apresenta-se a formação e origem das estrelas, seus processos de retração, as várias fases e os processos de fusão nuclear correspondentes a cada fase, os tipos de estrelas que existem, suas massas e seus respectivos desenvolvimentos.

O terceiro capítulo apresenta os buracos negros em si, as características deste singular objeto e seus diversos tipos, que pode apresentar: carga, massa e momento angular. Os elementos que o compõem, como seu horizonte de eventos, singularidade e etc.. Estes elementos variam juntamente as características dos buracos negros, os dois elementos citados anteriormente são os únicos presentes em todos os tipos de buracos negros.

Neste trabalho foi também realizada uma análise qualitativa da revista, de origem brasileira, “Ciência Hoje”, utilizando como veículo de pesquisa o *site* oficial da mesma. Foi aplicado na pesquisa como base o método de Análise de Conteúdo de Laurence Bardin.

A Análise de Conteúdo (AC) é uma metodologia para estudos de conteúdo em comunicação e textos que parte de uma perspectiva qualitativa, analisando numericamente a frequência de ocorrência de determinados termos, construções e referências em um dado texto. “Na AC o texto é um meio de expressão do sujeito, onde o analista busca categorizar as unidades de texto (palavras ou frases) que se repetem, inferindo uma expressão que as representem” (CAEEGNATO; MUTTI, 2006, p.4).

2 FUNDAMENTOS DA FÍSICA MODERNA

Para que seja possível compreender e elaborar um estudo a respeito dos buracos negros foram necessários alguns conhecimentos a respeito de alguns campos da física. Estes conhecimentos foram formulados a partir do início do século XX, quando os físicos se debruçaram sobre vários problemas, que culminaram no desenvolvimento de diversos ramos da física moderna: a natureza das radiações eletromagnéticas e os fenômenos ondulatórios, a Mecânica Quântica e a Teoria da Relatividade Geral.

Até o início do século XX acreditava-se que as radiações eletromagnéticas tratavam-se de fenômenos ondulatórios, baseados na teoria eletromagnética de James Clerk Maxwell (1831-1879). Porém, com a publicação das leis experimentais que descreveram o efeito fotoelétrico¹ pelo físico alemão Phillip Lenard (1862-1947), antigo assistente de Heinrich Hertz com quem desenvolveu a pesquisa e descobriu o efeito, trouxe duas alternativas: “ou a teoria ondulatória estava errada ou a propagação eletromagnética não era um fenômeno ondulatório” (GASPAR, 2008, p. 521).

Max Karl Planck (1858-1947), em 19 de outubro de 1900, apresentou seu trabalho sobre as radiações eletromagnéticas perante a Sociedade de Física de Berlim, formulando duas hipóteses que serviram de pilares para a Mecânica Quântica

- “a energia de um oscilador² é quantizada, ou seja, não pode haver uma quantidade de energia, mas apenas múltiplos de um valor fundamental” (CARRON; GUIMARÃES; 2006, p. 682);
- “a energia irradiada por um oscilador não é contínua, ela se manifesta através de pulsos ou *quanta*³, ou seja, a energia é emitida quando o oscilador passa de um estado quantizado para outro” (CARRON; GUIMARÃES; 2006, p. 682).

¹ “O efeito fotoelétrico é um fenômeno no qual metais, quando expostos à energia radiante, podem chegar a emitir elétrons, nele os fótons interagem com a matéria como se fossem partículas, mas sua propagação no espaço tem comportamento ondulatório” (CARRON; GUIMARÃES; 2006, p. 683).

² Oscilador harmônico é qualquer sistema que apresenta movimento harmônico de oscilação. É dito oscilador pelo fato de alguma entidade física oscilar, isto é, mover-se de algum modo, num movimento de vai-vem, em torno de uma posição central. Chama-se harmônico por ser o seu movimento caracterizado e descrito por uma função harmônica do tempo. Sendo que neste caso quem oscila é o elétron.

³ “*Quanta* é o plural de *quantum*, palavra latina que significa “quantidade”. Esse termo se tornou freqüente no início do século XX com o trabalho do físico alemão Max Planck (1858-1947) sobre a emissão de radiação de corpos aquecidos, que inspirou a solução de Einstein para o efeito fotoelétrico. Em 1900 Planck sugeriu que a energia não poderia ser considerada uma quantidade “infinitamente divisível, mas deveria ser composta de números inteiros de partes iguais e finitas”. Na linguagem atual, diz-se que a energia é *quantizada*” (GASPAR, 2008, p.521).

A solução proposta pelo físico Albert Einstein (1879-1955) em 1905, que lhe garantiu o prêmio Nobel de Física⁴ em 1921, baseava-se na teoria quântica de Planck. Einstein sugeriu que a energia de “qualquer radiação eletromagnética não se distribui uniformemente pelo espaço” (GASPAR, 2008, p. 521), ou seja, não era um fenômeno ondulatório, as radiações eletromagnéticas se propagariam através de pequenos *quanta*, partículas de energia – que não tem massa, portanto “não são partículas materiais” (GASPAR, 2008, p. 212) estes *quanta* receberam o nome de fótons⁵. Um feixe de luz é um feixe de partículas, de fótons, seu comportamento dual surge quando coletivo, passando a ser ondulatório.

Em 1842, o físico austríaco Christian Doppler (1803-1853), descreveu uma característica das ondas quando emitidas ou refletidas por um objeto que está em movimento em relação ao observador, o que veio a ser conhecido como *efeito Doppler*, nome dado em sua homenagem (MOLINA,).

Quando uma fonte de luz está se afastando de um observador o número de cristas⁶ de onda por segundo – a frequência⁷– que ele recebe será menor do que o número que este mesmo observador receberia se esta fonte estivesse estacionária em relação a ele. No caso, as ondas de luz são “alongadas” por causa da recessão da fonte, desta forma o comprimento de onda recebido é também mais longo, caracterizando o desvio para o vermelho ou *redshift*. Quando a fonte de luz está se aproximando do observador a frequência recebida será maior que o valor que ele receberia se a fonte emissora estivesse estacionário em relação a este observador, as ondas são “encolhidas”, seu comprimento é menor, caracterizando um desvio para o azul ou *blueshift* (MOLINA,).

⁴ O Nobel de Física é uma condecoração criada pela Fundação Nobel, de grande relevância desde sua criação, obedecendo a vontade do químico Alfred Nobel, expressa em seu testamento. É um prêmio atribuído anualmente, em outubro, pelos membros da Academia Real das Ciências da Suécia, a eminentes pesquisadores que se tenham destacado na produção de conhecimentos inovadores no domínio da física.

⁵ O fóton é o *quantum* da radiação eletromagnética.

⁶ A crista é o ponto de mais alto valor, cume, de uma onda.

⁷ Frequência é uma grandeza física ondulatória que indica o número de ocorrências de um evento (ciclos, voltas, oscilações, etc) em um determinado intervalo de tempo, representada fisicamente pela letra (*f*), a fórmula para o

cálculo da frequência é: $f = \frac{1}{T}$, sendo *T* o tempo, a unidade medida da frequência no S.I o *hertz* (Hz), no qual o valor do tempo é atribuído a 1 segundo.

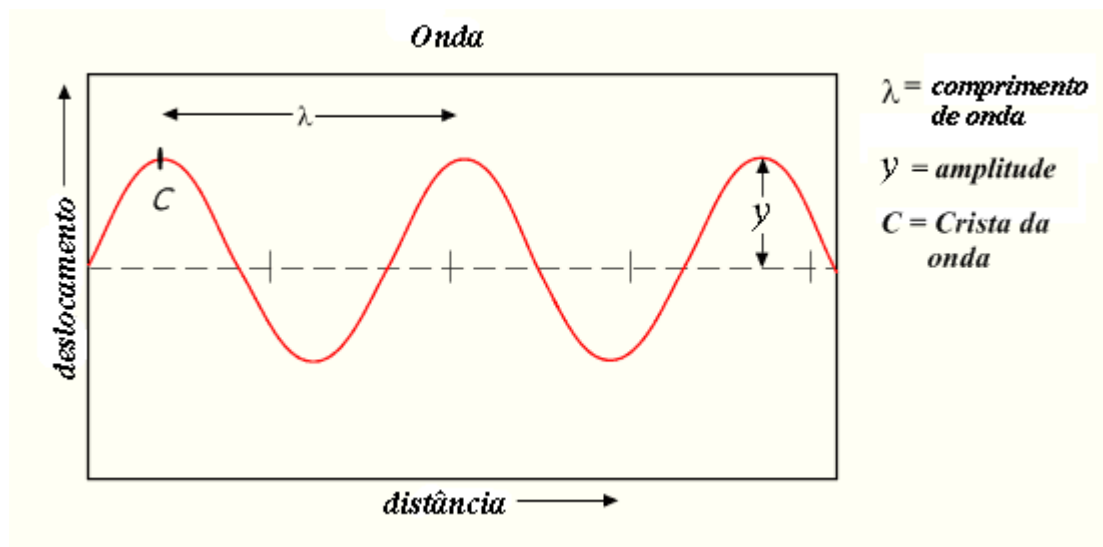


Figura 1 - Onda Luminosa

Fonte: Adaptada de Wikimidea. Acesso em 15 de maio de 2011. Disponível em: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e1/Onda.png>>.

A figura representa uma onda luminosa. Uma onda luminosa pode ser visualizada como uma onda sobre a água. A crista(*c*) é o ponto mais alto da onda, a distância entre duas cristas define o comprimento de onda, representado fisicamente pela letra grega (λ) lambda, o número de cristas por segundo é a frequência, representado por (*f*).

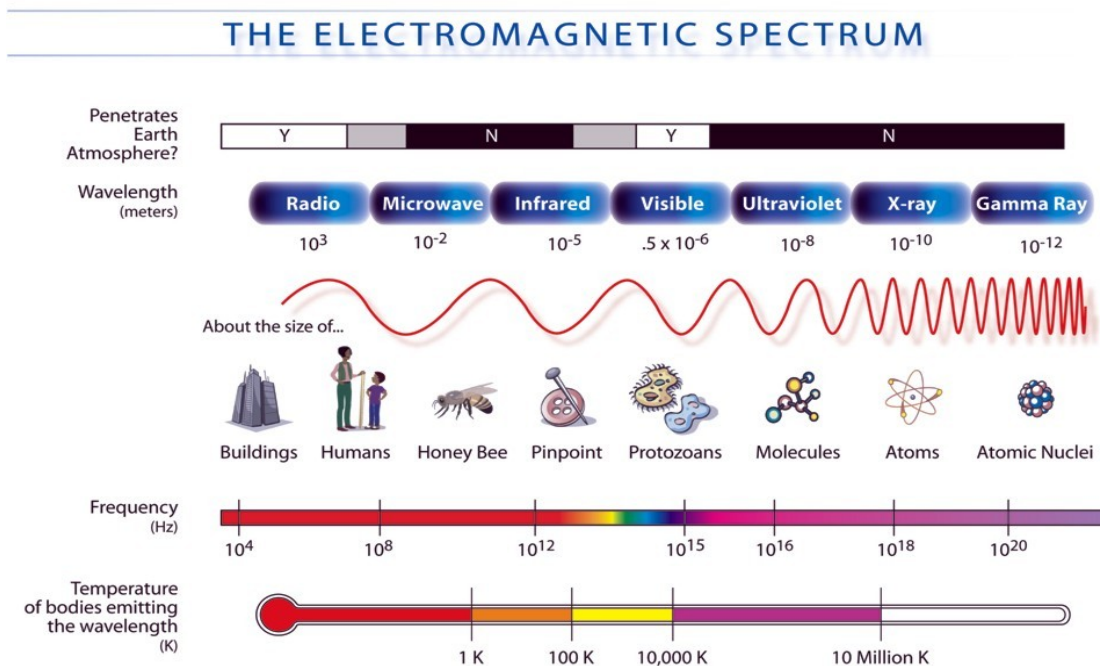


Figura 2 - Espectro eletromagnético

Fonte: Wikimídea. Acesso em 15 de maio de 2011. Disponível em: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/EM_Spectrum3-new.jpg>

É uma representação das amplitudes ou intensidades - o que geralmente traduz-se por energia - das componentes ondulatória de um sistema quando discriminadas uma das outras em função de suas respectivas frequências (ou comprimentos de onda). Em um espectro as componentes ondulatórias distinguem-se fisicamente umas das outras não por suas naturezas, mas sim pelas suas frequências. O desvio para o vermelho, *redshift*, é indicado da direita para a esquerda, o desvio para o azul, *blueshift*, é indicado da esquerda para a direita.

O diagrama representa em primeiro nível a capacidade de penetração ou não na atmosfera dos variados tipos de radiação, logo abaixo o comprimento da onda de cada tipo, o tamanho em comparação a determinadas coisas, depois a frequência em hertz (Hz) de cada radiação e a temperatura em kelvin (K).

A Teoria da Relatividade Geral foi publicada por Albert Einstein (1879-1955) em 1915, dez anos após ter publicado a relatividade restrita, da qual incorporou dois postulados:

- “As leis da física são as mesmas para todos os observadores em quaisquer sistemas de referência inerciais” (GASPAR, 2008, p.522);
- “A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor para todos os observadores, qualquer que seja seu movimento ou movimento da fonte” (GASPAR, 2008, p.522).

A Relatividade Geral trouxe vários conceitos novos que mudaram os paradigmas da física. O princípio da equivalência foi o desenvolvimento de um postulado que Galileu havia estabelecido. “Todos os corpos, quaisquer que sejam suas massas, sofrem a mesma aceleração quando caem sob a influência de um campo gravitacional, sendo a implicação que a massa inercial e a massa gravitacional são exatamente iguais.” (NICOLSON, 1983, p.95).

Uma das mudanças mais importantes foi o conceito espaço-tempo, sendo este crucial para o entendimento da gravidade. Einstein propôs que o espaço-tempo seria curvo na presença de corpos possuidores de grande massa e que os raios e partículas materiais percorreriam o espaço-tempo da forma mais eficaz possível, que seria ao longo de uma geodésica⁸, não de uma linha reta como no espaço de Minkowski⁹.

A gravitação seria resultado da geometria do espaço-tempo nas proximidades dos corpos. As trajetórias dos fótons e das partículas semelhantes depende da curvatura do espaço-tempo na qual estão se movendo. Quanto maior e mais concentrada a massa do corpo, maior será a curvatura do espaço-tempo ao seu redor e maior será a “força” de gravidade exercida sobre os corpos ao redor. Quando aumenta-se a distância de um corpo desta natureza, a curvatura do espaço se torna menor – e as “forças” gravitacionais recebidas mais fracas. Na ausência de matéria o espaço-tempo voltaria a ser plano. As mudanças gravitacionais não são instantâneas, mas viajam a velocidade da luz, por isso demoram a sofrer o efeito conforme a distância.

“O comportamento do espaço-tempo é muitas vezes ilustrado pela analogia da “lâmina de borracha”. Na ausência de matéria o espaço-tempo pode ser representado por uma lâmina de borracha horizontal e uma bola atravessaria esta lâmina ao longo de uma trajetória retilínea. Quando o peso é colocado sobre a lâmina, provoca um afundamento que desviará a bola de sua trajetória retilínea; um peso maior - representando um corpo de grande massa – causa um afundamento maior, afetando a curvatura de uma grande área da lâmina de borracha e produzindo um desvio correspondentemente maior da bola. Uma bola com a velocidade adequada poderia permanecer em órbita no afundamento causado pelo peso, tal como o planeta permanece em sua órbita no espaço-tempo curvo em torno do Sol “(NICOLSON, 1983, p.103).

Esta analogia serve para ilustrar como as diferentes curvaturas do espaço-tempo associadas às diferentes massas afetariam as linhas do universo das partículas.

⁸ Geodésica é uma curva que une dois pontos tal que, para pequenas variações da forma da curva, o seu comprimento é estacionário, em geometria curva, aplicada na Teoria da Relatividade Geral, é a curva de menor comprimento que une dois pontos.

⁹ O espaço de Minkowski é um campo vetorial quadrimensional equipado com uma forma bilinear simétrica, as três dimensões usuais do espaço são combinadas com uma única dimensão do tempo para formar uma variedade quadrimensional para representar um espaço-tempo.

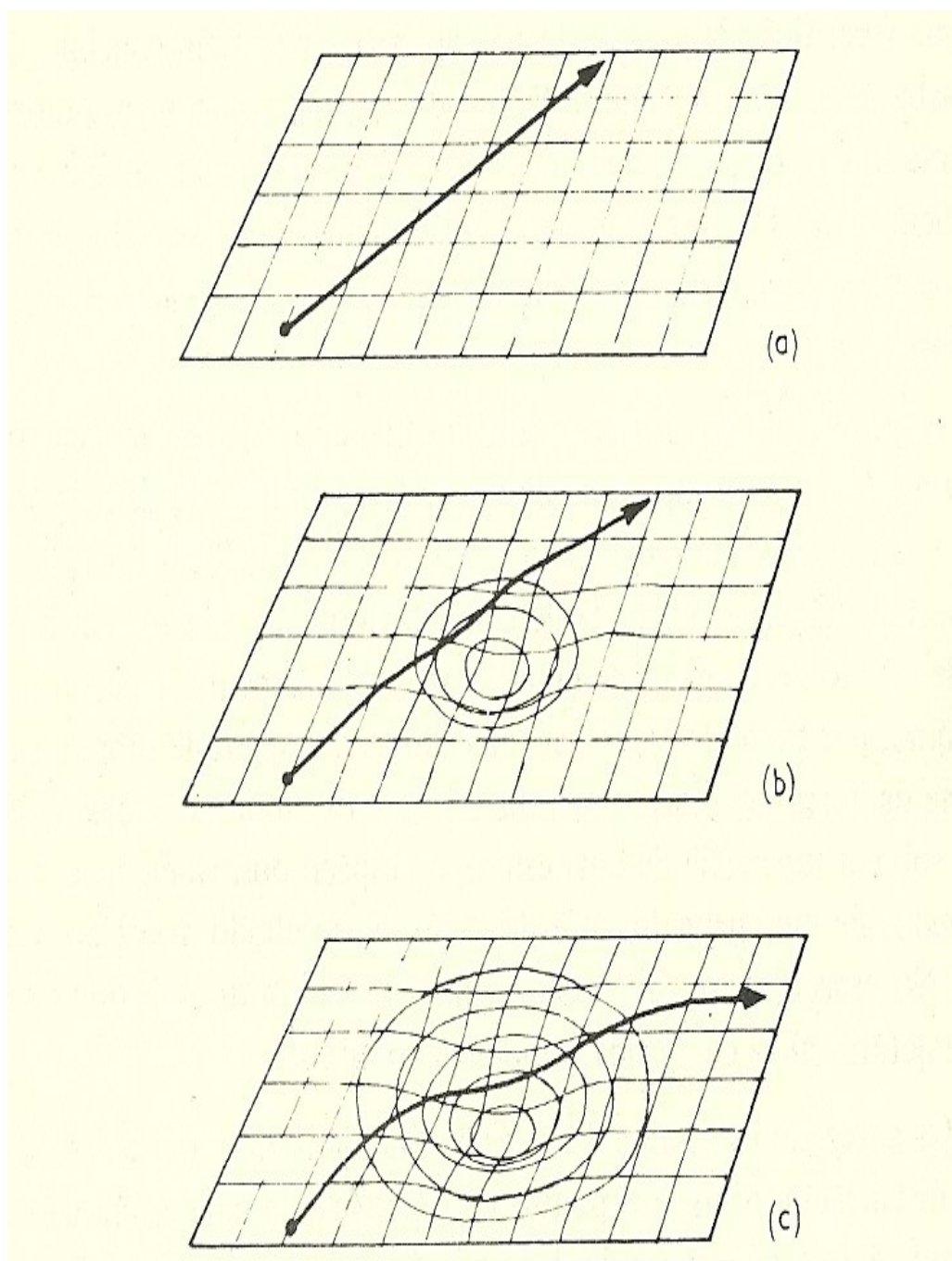


Figura 3 – Analogia da Lâmina de Borracha.

Fonte: NICOLSON, 1983.

Representa a analogia da lâmina de borracha, usada para melhor ilustrar o comportamento do espaço na presença de corpos com massas variadas e a trajetória das partículas conforme a deformação espaço-tempo.

- (a) Quando a superfície é plana a bola percorre uma trajetória horizontal; desta forma quando não a massa para causar deformidade no espaço-tempo ele é plano, e as partículas e raios seguem trajetórias retilíneas.
- (b) Quando um peso é colocado sobre a lâmina há um afundamento que causa o desvio do movimento da bola; da mesma forma o efeito de uma quantidade de matéria no espaço-tempo é distorcê-lo, causando o desvio dos raios e das partículas, fazendo com que sigam uma trajetória curva.
- (c) Quando um peso maior é colocado sobre a lâmina o afundamento que este corpo ocasiona é maior, com isso o desvio do movimento da bola é maior; desta forma um corpo de maior massa produz uma distorção maior no espaço-tempo, fazendo com que o desvio da trajetória das partículas e dos raios seja maior.

Dessa forma, os raios de luz ao serem expostos a um campo gravitacional, sofrem um desvio para o vermelho devido a esta interação, caracterizando o *redshift*, no qual há recessão da fonte. Pode-se sintetizar a teoria da Relatividade Geral em uma observação do professor John Archibald Wheeler sobre a mesma: “A matéria diz ao espaço como se curvar e o espaço diz a matéria como se mover ” (WHEELER apud NICOLSON, 1983, p.108).

3 DESENVOLVIMENTO ESTELAR

O desenvolvimento estelar apresenta diversas ramificações que variam em conformidade a massa do corpo. Estrelas de massa similar a do Sol – estrelas da seqüência principal do diagrama de Hertzsprung-Russell (figura 4) - irão seguir um determinado processo de fusão nuclear, que será comum a todas as estrelas até a fase de Gigante Vermelha, a partir desta há uma diferenciação. As Gigantes Vermelhas com mais de 10 massas solar ($10 M_{\odot}$), irão tornar-se Supergigantes Vermelhas, e novamente há uma divergência, aquelas que tiverem menos que $25 M_{\odot}$, terão início seu processo final, já aquelas com mais de $25 M_{\odot}$ ainda apresentarão outra fase de desenvolvimento (Ilustração 1).

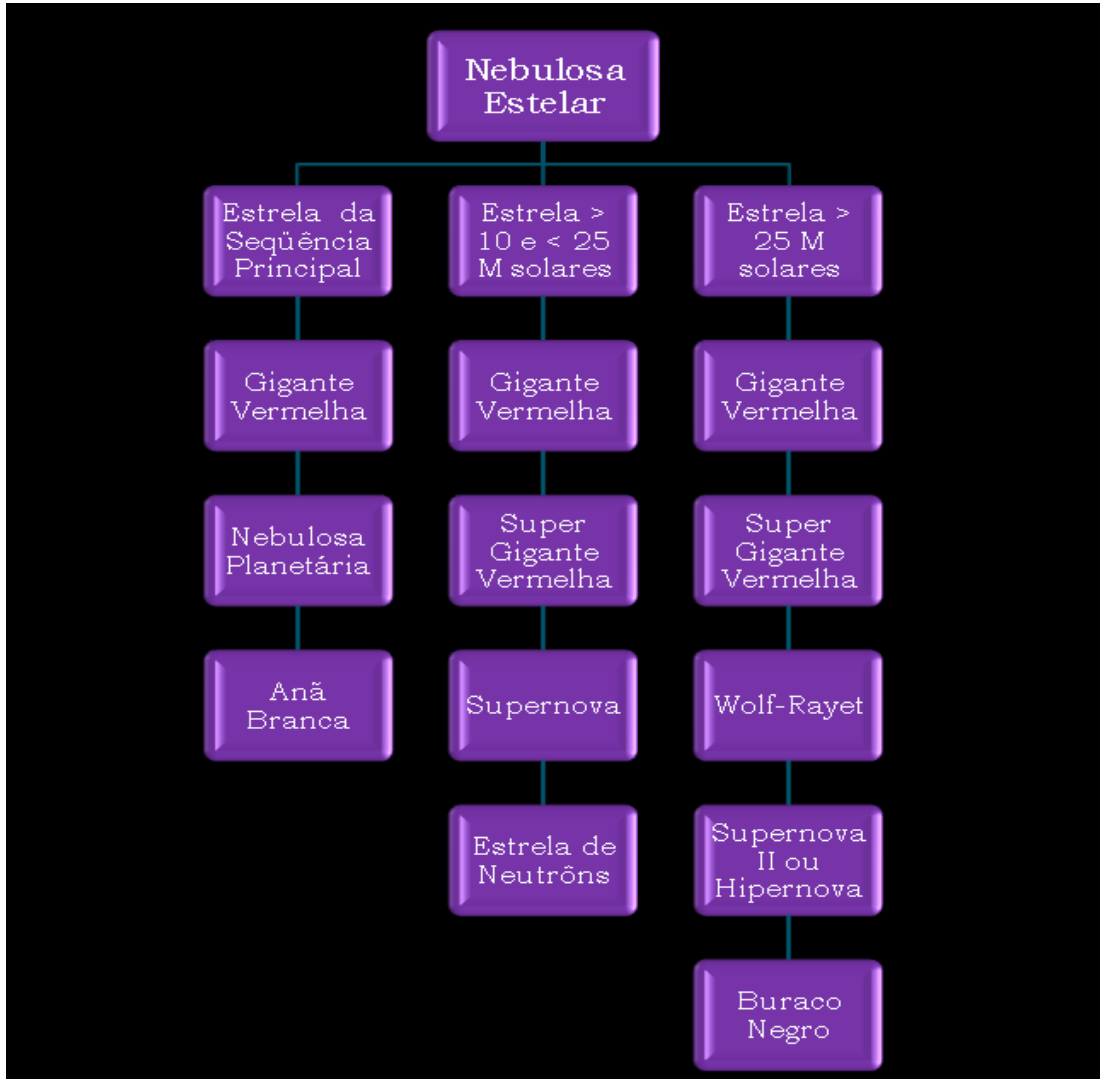


Ilustração 1- Organograma do Desenvolvimento Estelar.

Fonte: O autor.

O organograma resume os diversos caminhos que podem ocorrer no desenvolvimento de uma estrela, conforme sua quantidade de massa, tomando como base a massa solar, que segue o padrão de 1, segundo o diagrama de Hertzsprung-Russell. Estrelas com menos de $10 M_{\odot}$ irão seguir a seqüência principal e terminarão como Anãs Brancas. Aquelas com mais de 10 e menos do que $25 M_{\odot}$ tornar-se-ão supernovas e terão como remanescente uma Estrela de Nêutrons. Já aquelas estrelas com mais de $25 M_{\odot}$ irão tornar-se Wolf-Rayet, depois uma Hipernova – ou Supernova tipo II – e por fim um Buraco Negro.

O surgimento das estrelas tem origem em nuvens gigantes de gás, as nebulosas estelares. Quando uma região desta nuvem atinge certa massa, sua atração gravitacional faz com que a nuvem comece a retrair-se, e conforme este processo vai ocorrendo a temperatura da nuvem aumenta (LOPES, 2011).

Antes do processo de retração, causado pela gravidade, quando a nuvem encontrava-se distendida, ela possuía uma grande soma de energia potencial¹⁰. Conforme a nuvem se

¹⁰ Energia potencial (simbolizado por U ou E_p) é a forma de energia que se encontra em um determinado sistema “armazenada” e que pode ser utilizada a qualquer momento para realizar trabalho.

condensou a energia potencial converteu-se em energia cinética¹¹, a energia de movimento. Parte desta energia é usada para aumentar a temperatura da nuvem e parte é perdida no espaço, sob forma de radiação¹² (LOPES, 2011).

A nebulosa se colapsa e torna-se uma proto-estrela, pois ainda não realiza processos de fusão nuclear. Todavia, ainda restam muitas dúvidas associadas ao processo de formação das estrelas. Uma das questões que ainda permanece é como uma massa da nebulosa entraria em colapso sobre si mesma, já que este corpo celeste apresenta por volta de 10.000 massas solares. Ou seja, é um corpo deveras grande possuindo alta pressão interna, o que leva o corpo a manter-se em equilíbrio com a gravidade exercida sobre a nuvem. Desta forma acredita-se que haja um “gatilho” – algo que impulse o começo do processo de transformação da nuvem de gás em proto-estrela. Talvez o encontro com uma área mais densa (NICOLSON, 1983).

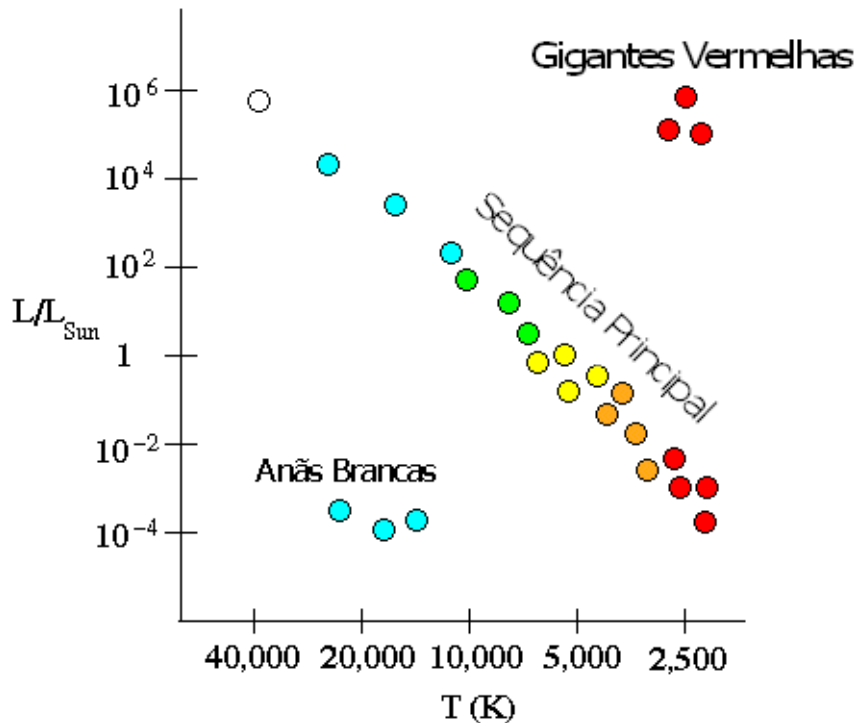
Conforme a temperatura e a densidade da proto-estrela elevam-se, a velocidade de retração cai. Quando a densidade e a temperatura do núcleo tornam-se suficientemente altas, iniciam-se as reações termonucleares¹³, que fundem núcleos de hidrogênio para formar núcleos de hélio – neste processo parte da matéria é transformada em energia –, com o início deste processo a proto-estrela torna-se uma estrela, atingindo um estado de equilíbrio, em que “a pressão para fora do gás quente no interior da estrela contrabalança a auto- atração gravitacional que está comprimindo a estrela” (NICOLSON, 1983, p.124).

¹¹ Energia Cinética, é uma das formas da energia mecânica, é definida como energia de movimento, porque ela está associada ao estado de movimento de um corpo.

¹² Radiações são ondas eletromagnéticas ou partículas que se propagam com uma determinada velocidade, em linha reta.

¹³ Reação nuclear é qualquer reação em que ocorra modificação de um ou mais núcleos atômicos, onde dois ou mais átomos se unem ou um átomo sofre fissão nuclear. A modificação no núcleo atômico produz calor, por isso a reação é chamada termonuclear.

Hertzsprung–Russell Diagram



Figura

4 - Diagrama de Hertzsprung-Russell

Fonte: Adaptado de Other Galaxies and Active Galaxies. Acesso em 20 de abril de 2011. Disponível em: <<http://abyss.uoregon.edu/~js/ast123/lectures/lec13.html>>.

Classifica as estrelas de acordo com a luminosidade (valor absoluto) e a temperatura, associada com a cor das estrelas, que variam das estrelas branco-azuladas de alta temperatura no lado esquerdo do diagrama às estrelas vermelhas de baixa temperatura, no lado direito. O eixo vertical (y) representa a luminosidade das estrelas, tomando o Sol como 1. O eixo horizontal (x) indica a temperatura em graus Kelvin, em seqüência decrescente.

O diagrama Hertzsprung-Russell é usado para definir os diferentes tipos de estrelas, e para casar previsões teóricas sobre a evolução estelar usando-se modelos computacionais e observações de estrelas verdadeiras.

Uma análise do diagrama mostra que as estrelas tendem a se agrupar somente em certas regiões do diagrama. A região predominante é a diagonal, indo do topo superior esquerdo – de temperaturas mais quente e luminosidade mais brilhante – ao canto inferior direito – de temperaturas mais baixas e com luminosidade menos brilhante. Esta região diagonal é chamada de Seqüência principal.

O canto inferior esquerdo é onde são encontradas as anãs brancas – estrelas densas, com alta temperatura e baixa luminosidade –, acima da Seqüência principal estão as Gigantes vermelhas e um pouco acima destas encontram-se as Supergigantes Gigantes vermelhas – estes dois tipos de estrelas são caracterizadas por terem alta luminosidade, sendo as Supergigantes mais luminosas que as Gigantes, e temperaturas mais baixas. O Sol encontra-se na seqüência principal, na magnitude 1.

A maior parte das estrelas encontra-se na seqüência principal do diagrama de Hertzsprung-Russell (Figura 4), ilustrado acima, com uma temperatura e luminosidade determinadas pela quantidade de massa da estrela. Quanto maior a massa, mais luminosa é a estrela, o que não ocorre com as estrelas de muito mais ou menos massa, estas apresentam um comportamento diferenciado.

O fase de estrela inicia-se com os processos de fusão nuclear¹⁴ que são realizados no núcleo da estrela. Estes processos irão durar bilhões de anos e enquanto ele se mantiver a estrela seguirá na seqüência principal (Figura 4), como exemplo temos o nosso Sol, que terá uma vida de 10 a 11 bilhões de anos. A fusão nuclear começa quando a estrela funde núcleos de hidrogênio para formar núcleos de hélio (PIRES, 2002). Existem dois possíveis processos de fusão nuclear que partem de núcleos de átomos de Hidrogênio e que acarretam na formação de núcleos de átomos de Hélio.

1. ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_2\text{He}^3 + {}_0\text{n}^1$; ${}_1\text{H}^2$ é igual a ${}_1\text{D}^2$, que é o deutério (FELTRE, 2005, p. 483).
2. ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^3 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_0\text{n}^1$; ${}_1\text{H}^3$ é igual a ${}_1\text{T}^3$, que é o trítio (FELTRE, 2005, p. 483).

Gigantes vermelhas

Conforme o hidrogênio vai sendo fundido em hélio, este por ser mais pesado irá acumular-se no núcleo da estrela. À medida que o núcleo de hélio aumenta, a pressão no centro da estrela se eleva acarretando um aumento de temperatura, primeiramente na camada externa (NICOLSON, 1983).

Quando a temperatura atingir 100 milhões de graus Kelvin inicia-se o processo de fusão nuclear dos átomos de hélio. Entretanto, quando está temperatura é alcançada, o hélio já se encontra firmemente condicionado no núcleo da estrela, por isso quando a temperatura de fusão nuclear for atingida o núcleo da estrela não terá como expandir-se para compensar as reações súbitas, ocasionando então uma explosão de hélio – conhecida como “clarão de hélio” -, essa explosão fará o núcleo em pedaços; o anel de hidrogênio, encontrado no núcleo da estrela, que sofria o processo de fusão nuclear ficará desmantelado.

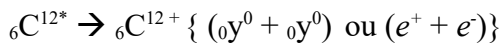
Como consequência, as emissões de radiações cessarão e a camada exterior irá arrefecer-se cada vez mais à medida que o hélio volta a sua posição original, no núcleo da estrela. Os núcleos de hidrogênio e hélio passam a sofrer fusão nuclear ao mesmo tempo. Conforme este processo ocorre a temperatura da estrela eleva-se e as camadas exteriores expandem-se, perdendo calor mais rápido (NICOLSON, 1983).

Com a fusão dos núcleos de hélio inicia-se uma nova fase da vida da estrela. Neste momento, a estrela se encontrara suficiente fria para que os elétrons e os nêutrons voltem-se a

¹⁴ “Fusão Nuclear é a junção de núcleos atômicos produzindo um núcleo maior, com liberação de uma quantidade enorme de energia” (FELTRE, 2005).

compor átomos de elementos químicos. Os núcleos de hélio fundido tornar-se-ão núcleos de carbono – através do processo Triplo-Alfa¹⁵ - e a estrela entra em outro estado estável – podendo tornar-se de acordo com sua massa, uma gigante vermelha ou uma supergigante vermelha.

Processo Triplo-Alfa:



Equação Global: ${}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_6\text{C}^{12}$ (DOTTORI)

Supergigante Vermelha

O estado de gigante vermelha não dura muito tempo, pois as reservas de energia são consumidas muito mais rapidamente do que quando era uma estrela. Quando todos os combustíveis nucleares possíveis forem utilizados a estrela deixa de estar em equilíbrio com a gravidade.

As Anãs Brancas

Nas estrelas do tipo solar – que tem quantidade de massa similar a do Sol – quando terminado o processo de fusão nuclear de átomos de elementos químicos, o núcleo da estrela se condensa e as camadas externas da estrela se desprendem. Os gases emitidos formam nuvens que permanecem em constante expansão, uma nebulosa planetária. No centro da nebulosa encontra-se uma anã branca, uma estrela pequena e muito densa – comprimida pela gravidade.

Estrela de nêutrons

Entretanto nas estrelas mais massivas, com mais de dez e menos que vinte cinco vezes a massa do Sol, os processos de fusão nuclear são um pouco diferenciados. A explosão de

¹⁵ O processo Triplo-Alfa ou Triplo-Alpha ocorre quando dois núcleos de ${}^4\text{He}$ realizam fusão nuclear e produzem um isótopo de berílio, o ${}^8\text{Be}$. No entanto, o Berílio não é estável e decai em dois núcleos de ${}^4\text{He}$ em apenas $2,6 \times 10^{-16}$ segundos. Devido a esta instabilidade do berílio, o processo triplo-alfa só pode ser realizado quando há uma colisão quase que simultânea entre três núcleos de ${}^4\text{He}$.

hélío não chegará a ocorrer, quando se inicia o processo de fusão nuclear. A fusão nuclear do hélío irá ocorrer paulatinamente, e da mesma forma com o carbono que se encontrar no núcleo estelar, quando a temperatura tiver alcançado 3000 milhões de graus Kelvin. O ciclo continuará dando origem sucessivamente ao neônio, magnésio, silício, fósforo e níquel até que estes processos de fusão nuclear originam diversos núcleos de átomo de Ferro, que irá encontrar-se no centro da estrela, os átomos de Ferro não sofrem fusão nuclear.

Quando a estrela tem seu centro composto por átomos de Ferro, a pressão e a temperatura é tão elevada que os elétrons e os prótons são esmagados uns contra os outros dando origem as partículas sem carga, os nêutrons. Estes ocupam muito menos espaço que os elétrons e o núcleo começa a afundar sobre si mesmo, criando ainda mais calor, o que acelera o processo. Em questões de segundos a estrela é desmantelada por uma explosão de dimensões incríveis – tornando-se uma supernova.

O remanescente da supernova seria uma estrela muito pequena composta de nêutrons e dessa forma denominada estrela de nêutrons. Existe uma massa máxima possível que uma estrela de nêutrons de rotação moderada pode ter. Embora o valor deste limite ainda não tenha sido bem estabelecido, acredita-se que não seja mais do que dez massas solares.

Wolf-Rayet

Existem muitos meios através dos quais as estrelas podem perder massa perto do fim de suas vidas – ventos estelares¹⁶, transferência de massa em um sistema binário¹⁷, surpenovas e etc. -, mas existem estrelas com 20 ou mesmo 50 vezes a massa do Sol, essas estrelas são conhecidas como Wolf-Rayet. Parece improvável que todas elas possam perder massa suficiente para atingir o nível de uma estrela de nêutrons (MACIEL, 2005).

Uma Wolf-Rayet que excede este limite de massa, maior que 20 massas solares, começa a entrar em colapso sobre seu próprio campo gravitacional, pois este torna-se muito forte devido a grande quantidade de massa. A matéria que constitui a estrela entra em colapso sem limite, a força gravitacional na superfície eleva-se até atingir uma etapa em que nem

¹⁶ Os ventos estelares são um fenômeno comum nas estrelas, desde as anãs, até as estrelas supergigantes quentes, passando pelas gigantes vermelhas de baixa temperatura superficial, constituem fenômenos hidrodinâmicos de escoamento de gases circunstelares (MACIEL, 2005).

¹⁷ Uma sistema binária é um sistema estelar que consiste de duas estrelas orbitando em torno de um baricentro (centro de massa) comum. A estrela mais brilhante é chamada de primária, enquanto que a estrela menos brilhante é chamada de estrela companheira ou secundária.

mesmo a luz pode escapar. Então a estrela desaparece, formando o que é conhecido como um buraco negro.

4 BURACOS NEGROS

Os buracos negros têm sua origem a partir de estrelas com mais de vinte cinco vezes a massa do Sol, as Wolf-Rayet, quando os processos de fusão de nuclear que ocorrem no centro da Wolf-Rayet levam a formação de núcleos de átomo de Ferro – que não sofrem fusão nuclear – há um desequilíbrio entre a gravidade do corpo e os processos termonucleares que ocorrem em seu centro. A matéria que constitui a Wolf-Rayet entra em colapso sem limite, a força gravitacional na superfície eleva-se até atingir uma etapa na qual a luz não pode fugir a esta atração. Então a Wolf-Rayet desaparece, formando o que é conhecido como um buraco negro. Dentre as classificações atuais existem diversos tipos de buracos negros, quatro deles (Tabela 1) são originados das equações de campo da Teoria da Relatividade Geral, portanto, podem ou não existir na prática.

Tabela 1 – Característica dos Buracos Negros

	Momento Angular ($J \neq 0$)	Sem Momento Angular ($J = 0$)
Carregado ($Q \neq 0$)	Kerr-Newman	Reissner-Nordström
Não carregado ($Q = 0$)	Kerr	Schwarzschild

Fonte: O autor.

Em consequência ao trabalho realizado por B. Carter, W. Israel, D.C. Robinson e S.W. Hawking, foi demonstrado que os buracos negros, do ponto de vista do observador externo, só podem possuir três características distintas. Todas as propriedades de um buraco negro são determinadas por sua massa (M), sua carga elétrica (Q) e seu momento angular (J). A razão pela qual estas propriedades são preservadas é a associação das mesmas com campos de longo alcance, que podem exercer influência a grandes distâncias. Quando um buraco negro se forma, o campo gravitacional além do seu horizonte de eventos continua a afetar o movimento dos raios e dos objetos materiais. De forma semelhante, o campo eletromagnético associado a qualquer carga que o buraco negro possui influenciará seus arredores. Segundo Nicolson (1983), nenhuma das outras propriedades da matéria que contribui para a formação dos buracos negros é preservada.

4.1. BURACO NEGRO DE SCHWARZSCHILD

Em 1915 Karl Schwarzschild publicou a primeira resolução das equações de campo de Albert Einstein, um mês após a publicação da teoria. Os resultados por ele encontrados trouxeram à luz um assunto que fora ignorado pela comunidade científica por muito tempo, o conceito de um corpo no qual a gravidade é tão poderosa que nem mesmo a luz - onda eletromagnética da qual nenhum corpo, partícula ou onda pode superar a velocidade - pode escapar.

Todavia, é possível estabelecer uma relação entre a física da relatividade geral e a mecânica newtoniana e achar resultado similar. Um buraco negro se forma quando uma determinada quantidade de matéria é comprimida dentro de seu raio de Schwarzschild¹⁸ (r_s), estabelecendo-se uma relação entre o raio do objeto (r) e a velocidade de escape (Ve). Na qual a velocidade da luz (c) é igual a velocidade de escape, e o raio (r) ou a massa do objeto é igual ao dobro da constante gravitacional multiplicado pela a massa do objeto e dividido pela velocidade da luz ao elevada ao quadrado ($r_s = 2.GM/c^2$) (NICOLSON, 1983).

$$Ve = \frac{2GM}{c^2}$$

$$r_s = \frac{2GM}{c^2}$$

Desta forma, substituindo a velocidade de escape (Ve) pela velocidade da luz (c), e o raio (r) pelo raio de Schwarzschild (r_s), têm-se:

$$c = \sqrt{\frac{2GM}{\frac{2GM}{c^2}}}$$

Resolvendo a equação:

$$c = Ve$$

Teoricamente qualquer corpo poderia tornar-se um buraco negro, pois para cada massa existe um raio de Schwarzschild dentro do qual ela pode ser comprimida (são fornecidos

¹⁸¹⁸ Cada corpo tem um raio de Schwarzschild, simbolizado por r_s , que representa o raio necessário para comprimir a massa do corpo de forma a torná-lo uma região no espaço de gravidade superior a velocidade da luz, um buraco negro.

exemplos no Quadro 1). Um modo pelo qual este fato pode ocorrer foi assinalado no capítulo anterior, quando uma estrela entra em colapso sobre si mesma - sob sua própria atração gravitacional. Se, quando começa o colapso, a massa final da estrela excede cinco massas solares ($5 M_{\odot}$), este irá continuar até toda a estrela ser comprimida em um ponto conhecido como Singularidade (NICOLSON, 1983).

Assim que a estrela atravessa seu raio de Schwarzschild (r_s), esta desaparece de vista, pois a luz da superfície estelar não consegue ser mais veloz que a força gravitacional que a comprime, desta forma não mais é possível ver a estrela. Em decorrência disto forma-se o Horizonte de Eventos¹⁹, uma área ao redor da estrela que representa o limite, o qual é possível escapar-se da atração gravitacional da estrela em colapso. Não se é possível ter conhecimento de nenhum evento que encontre-se além do Horizonte de Eventos (NICOLSON, 1983).

É importante ressaltar que o Horizonte de Eventos não representa nenhuma fronteira sólida, por isso se este for cruzado somente será possível detectar uma variação na gravidade. Esta irá atrair o corpo inexoravelmente para a singularidade, na qual a matéria encontrar-se-ia em colapso eterno.

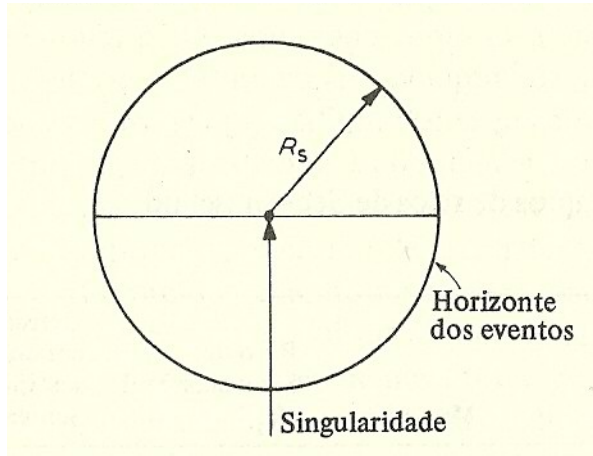


Figura 5 - Buraco Negro de Schwarzschild.

Fonte: NICOLSON, 1983

É uma região esférica cujo raio é igual ao raio de Schwarzschild (r_s). O limite do buraco negro é chamado de Horizonte de Eventos. No centro, a matéria encontra-se em colapso infinito, a Singularidade.

Objeto	Massa	Raio de Schwarzschild (r_s)	Densidade da massa em colapso ao atingir seu raio
--------	-------	---------------------------------	---

¹⁹ Horizonte de Eventos é uma região no espaço ao redor de uma estrela que está ou já se colapsou, sendo este o limite representativo do mais próximo que se pode se aproximar do corpo sem que torne-se impossível afastar-se de sua influência gravitacional.

	de Schwarzschild (Kg/m ³)		
Pequena Montanha	10 ¹² Kg	10 ⁻¹⁵ m	10 ⁵⁶
Pequeno Asteróide	10 ¹⁸ Kg	10 ⁻⁹ m	10 ⁴⁴
Terra	6 x 10 ²⁴ Kg	1 cm	10 ³⁰
Sol	2 x 10 ³⁰ Kg	3 Km	10 ¹⁹

Quadro 1 - Exemplos de raios de Schwarzschild
Fonte: NICOLSON, 1983.

4.2. BURACO NEGRO GIRATÓRIO

Os buracos negros são formados a partir de corpos giratórios – isto é, corpos possuidores de momento angular -, que podem até possuir uma carga elétrica determinada, pois a rotação é uma propriedade comum às estrelas, planetas e galáxias. Então como a formação dos buracos negros é consequência do colapso de uma estrela, é de se esperar que os buracos negros girem (NICOLSON, 1988).

Em 1916 e 1918, H. Reissner e G. Nordström, respectivamente, encontraram soluções para as equações de campo de buracos negros possuidores de massa M e carga Q , mas só em 1963 Roy Kerr encontrou uma solução para buracos negros com massa M e momento angular J . A partir daí foi possível discutir modelos reais de buracos negros (NICOLSON, 1988). Dois anos mais tarde E.T. Newman e outros obtiveram soluções envolvendo os requisitos M , J e Q , todas as possíveis características possuídas pelos buracos negros.

Os buracos negros giratórios – Kerr e Kerr-Newman – possuem certo número de propriedades interessantes tanto dentro como fora do horizonte de eventos. Além deste há uma região conhecida como ergosfera, limitada por uma superfície chamada de limite estacionário. O limite estacionário toca o horizonte de eventos nos pólos e se dilata até sua maior extensão ao nível do equador. Dentro do limite estacionário nada pode permanecer parado.

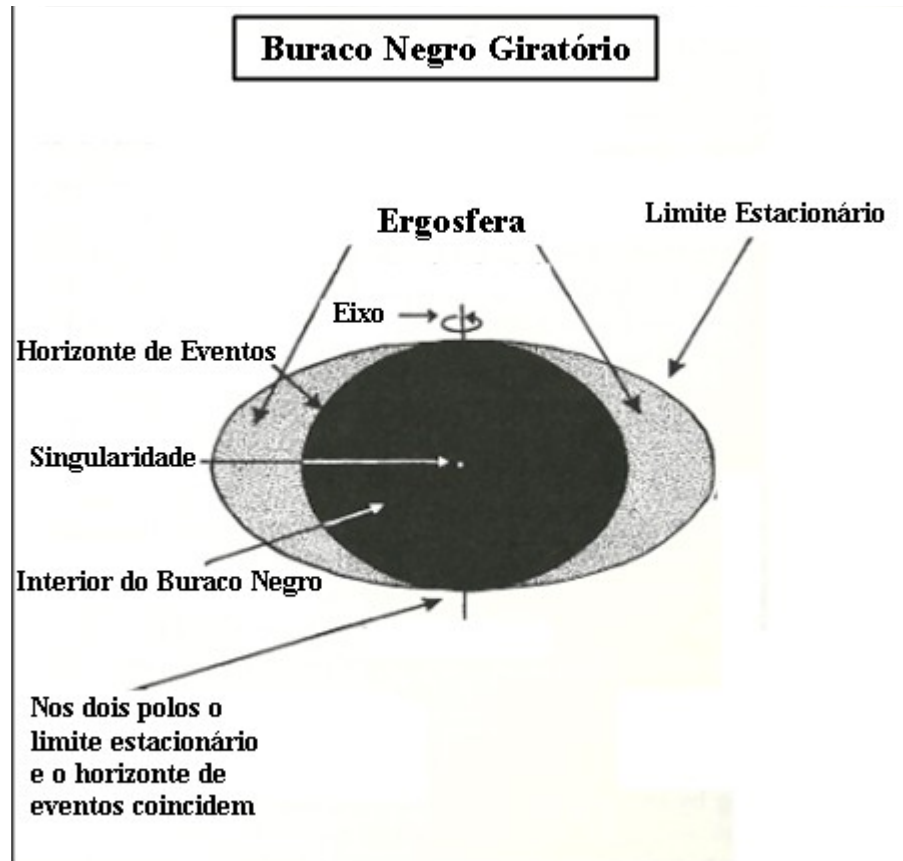


Figura 6 - Buraco Negro Giratório.
 Fonte: Adaptado de FERGUSON, 1996.

Composto por horizonte de eventos, singularidade, ergosfera e limite estacionário. Tudo que estiver dentro da ergosfera, a área em cinza na figura, será levado a girar na mesma direção que a rotação do buraco negro.

No interior de um buraco negro giratório a singularidade central assume a forma de um anel, que ao ser representada em um mapa espaço-tempo (Figura 6) verifica-se que ela é vertical, paralela a direção do tempo do diagrama de Penrose, ou seja *tempiforme*.

O diagrama de Penrose²⁰ para um buraco negro giratório revela que o buraco negro possui dois horizontes de evento, um externo e outro interno, mais próximo à singularidade. Um corpo dentro do horizonte externo não pode evitar cair para dentro, pois uma vez cruzado este horizonte as propriedades do espaço e do tempo mudam de tal forma a impedir que ocorra o movimento em qualquer direção desejada. Ao cruzar o horizonte de eventos interno as propriedades do espaço e do tempo mudariam novamente, tornando possível mover o corpo.

²⁰ O diagrama de Penrose é um diagrama bidimensional que capta as relações causais entre diferentes pontos no espaço-tempo. É uma extensão do diagrama de Minkowski onde a dimensão vertical representa o tempo, e a dimensão horizontal representa o espaço, e as linhas inclinadas em um ângulo de 45° correspondem aos raios de luz.

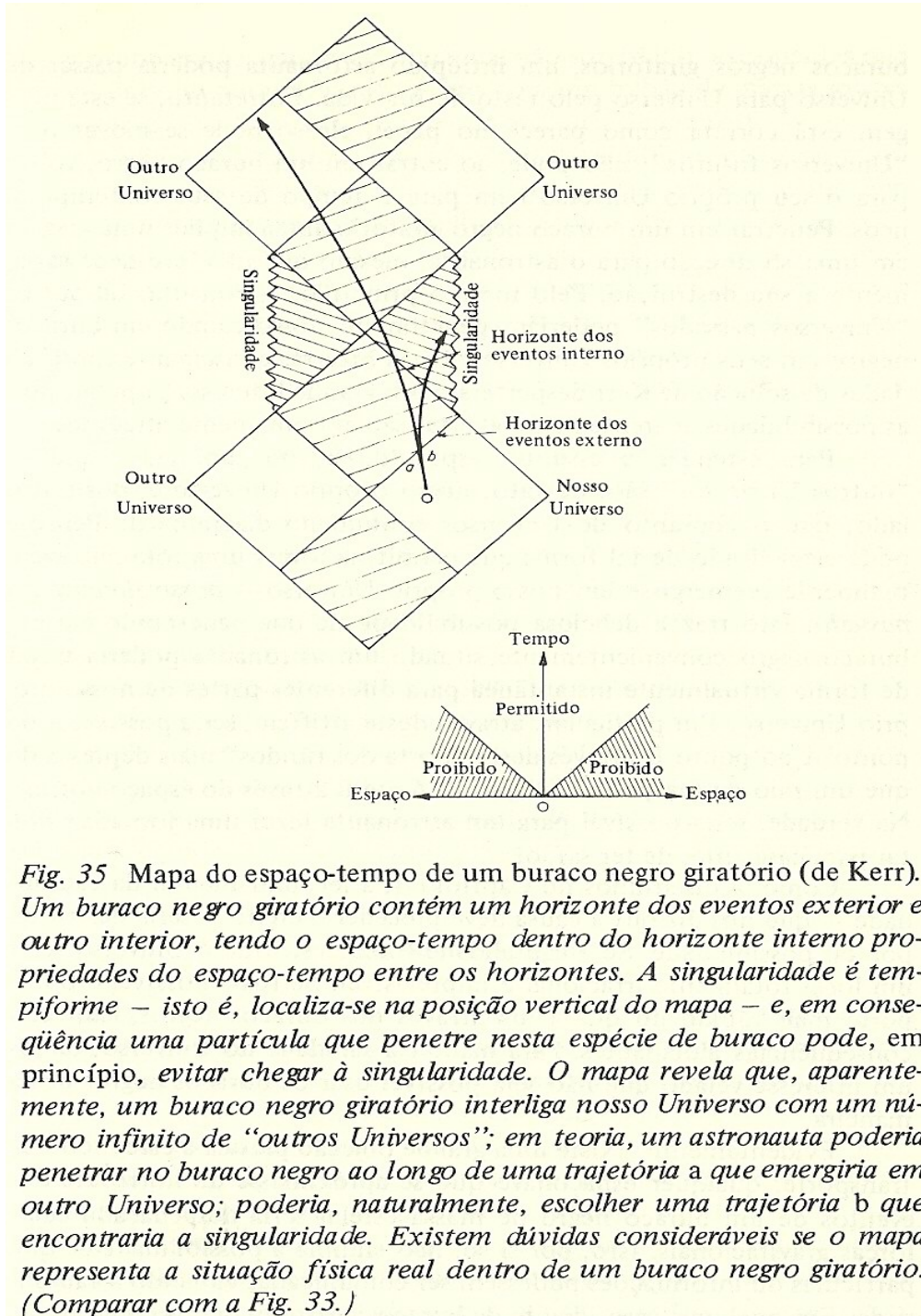


Figura 6 – Diagrama do espaço-tempo de um buraco negro giratório
 Fonte: NICOLSON, 1983

5 PESQUISA NA REVISTA “CIÊNCIA HOJE”

5.1 INTRODUÇÃO À PESQUISA

A partir do aprofundamento a respeito dos buracos negros foi realizado uma análise quantitativa e qualitativa da revista, de origem brasileira, “Ciência Hoje”, utilizando como veículo de pesquisa o *site* oficial da mesma. Foi aplicado na pesquisa o método de Análise de Conteúdo de Laurence Bardin, para aquelas matérias que foram consideradas de maior relevância para o trabalho.

Em decorrência do critério de seleção das matérias disponíveis no *site* da revista ter sido o de busca, utilizando o buscador disponibilizado no próprio site por meio de palavras-chave, foi encontrado em grande parte dos itens somente breves citações do termo, já que o buscador não é sensível a conteúdos. Desta forma o critério de análise foi a profundidade do tema dos buracos negros em cada matéria. Porém, também foi realizado uma análise comparativa entre as matérias, mesmo aquelas de menor profundidade, e ao final da análise de conteúdo foram tecidas conclusões em relação a recorrência de pontos de vista comum sobre o tema dos buracos negros.

O período de tempo que foi realizado o acompanhamento das notícias foi a partir da edição mais antiga da revista que encontra-se disponibilizada no acervo de seu *site* até o terceiro dia do mês de outubro do ano de 2011. Ao final desta data foi realizado a análise geral de todos os dados encontrados.

5.2 ANÁLISE DOS DADOS

Ao realizar uma pesquisa por meio do buscador disponível no *site* da revista “Ciência Hoje” utilizando os caracteres “buraco negro” foram encontrados vinte e um itens que atenderam ao critério de pesquisa. Quando os caracteres foram substituídos por “buracos negros” foram encontrados vinte e três itens, demonstrando que houve uma diferença de dois itens encontrados ao se conjugar o termo no plural. Ao se colocar o termo no plural uma mudança de sentido pode existir, pois “buraco negro” pode significar um em específico, enquanto “buracos negros” podem fazer alusão à um termo mais geral.

Foi notado que o buscador disponibilizado pelo *site* não era sensível as variações entre maiúsculas e minúsculas. Também foi constatado que o buscador não seleciona o conteúdo, a pesquisa é realizada de forma geral através do reconhecimento de todos os termos procurados. Por conseguinte os itens encontrados na pesquisa, tanto para o termo “buraco negro” quanto para “buracos negros” indicaram que houve repetição de artigos. Este fato é decorrente da apresentação nos resultados de pesquisa da edição em que encontra-se a matéria na qual foi encontrado o termo e da reportagem no qual o mesmo é citado. Então o número de itens encontrados nas buscas não correspondem corretamente ao número de conhecimentos produzidos pela revista acerca do termo procurado.

5.2.1 O Termo “Buracos Negros”

Utilizando as palavras-chaves “buracos negros” no buscador, o primeiro item encontrado na pesquisa foi a edição de número 182, publicada no mês de maio do ano de 2002, na qual a matéria de capa tinha o título de “*Partículas elementares à luz dos buracos negros*”. Este mesmo artigo da revista também foi apresentado na lista de resultados encontrados pelo buscador do *site*, caracterizando uma das referências repetidas, citadas anteriormente. A página do *site* da revista Ciência Hoje referente à edição de número 182 traz um breve resumo dos conteúdos apresentados nesta edição, incluindo o referente às palavras-chaves pesquisadas, e algumas reportagens e/ou seções encontram-se disponíveis para leitura de texto, sendo possível o *download* dos conteúdos na versão *PDF*.

Nesta reportagem encontrada inicialmente é feito um levantamento histórico tendo como ponto de partida a Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein e depois a publicação das teorias de campo da mesmo por Karl Schwarzschild. É explicado como funcionam as reações termonucleares no centro das estrelas e como isto mantém a estabilidade das mesmas em relação a gravidade, e depois como as estrelas de certa massa podem se transformar em buracos negros. Explica-se o conceito de vácuo e como isto está ligado a radiação Hawking e a evaporação dos buracos negros. A linguagem utilizada é acessível para aqueles que não são especialistas, porém detêm um pouco de conhecimento a respeito do tema.

O seguinte resultado encontrado pelo buscador foi a breve legenda referente à uma fotografia intitulada “*Exposição ‘Einstein’ traz atrações interativas para demonstrar suas*

teorias”, na qual segundo a legenda crianças brincam de abrir buracos negros em uma mesa sensível ao toque. Esta fotografia e legenda pertencem à uma notícia que é listada um pouco depois pelo buscador, sob o título de “*Einstein em temporada carioca*”, a notícia foi publicada em treze do mês de abril do ano 2010. Ela apresenta a exposição sobre a vida e o trabalho do físico Albert Einstein no Museu Histórico Nacional. Não são fornecidas mais explicações além do que já foi apresentado pela legenda à respeito dos buracos negros, somente é citado no texto outra atração que seria o simulador de buracos negros, este também sem maiores explicações de seu funcionamento.

O quarto item achado é uma notícia publicada no dia vinte e um de outubro do ano de 2010 sob o título de “*Mostrando a identidade*”. Este resultado encontra-se relacionado à seção de astrofísica e astronomia do *site*. A notícia relata o desenvolvimento de um programa de computador por astrofísicos da Universidade Federal de Santa Catarina que vem estudando em detalhes a população de estrelas.

Os dois resultados seguintes fazem alusão ao texto da coluna intitulada “Exatamente”, disponível na edição de número 285. O texto foi publicado no dia vinte e três de novembro do ano de 2010, com o título de “*O céu de Ícaro e de Galileu*”, e apresenta referências que o relacionam à história da ciência, cosmologia, astronomia e física. O texto apresenta breve e rapidamente o termo buracos negros, indicando que estes são formados pelo colapso de estrelas mais massivas, só como forma de indicar alguns dos componentes do que compreende o dito “céu de Galileu”.

O oitavo item encontrado pelo buscador aparece sob o título de “*Combinação explosiva*”, esta reportagem foi escrito em vinte e um de abril do ano de 2010 por um dos jornalistas no *blogue* Bússola da revista, as referências apresentadas relacionam o artigo à cosmologia, mecânica quântica e física. É possível notar que devido a ser um *blogue* é utilizado uma linguagem diferenciada das reportagens anteriores, coloquial, mais livre em relação ao modelo jornalístico. A reportagem trata de um efeito descrito por dois brasileiros na conceituada revista de física “*Physical Review Letters*”. Fazendo referências a obra Dom Quixote de Miguel Cervantes e utilizando o quadro de Pablo Picasso como ilustração o autor compara a junção da gravidade com o vácuo e a união de Sancho Pança e Dom Quixote. A reportagem apresenta uma breve introdução sobre as quatro forças básicas da natureza de forma simples e exemplificada, o termo “buracos negros” aparece quando cita-se a força gravitacional.

Este artigo apresenta uma continuação intitulada “*Combinação explosiva 2: a suposta causa*”. As referências apresentadas durante a reportagem fazem com que ele continue relacionado à cosmologia, mecânica quântica e física. Publicada em quatro de maio de 2010, alguns dias após a publicação do primeira reportagem da seqüência, este continua a explicação iniciada no primeiro sobre o aumento exponencial na energia do vácuo através da gravidade, não tendo nada relacionado à buracos negros, somente uma pergunta onde há uma comparação à buracos negros.

O próximo resultado encontrado é uma notícia a respeito de astronomia e exploração espacial intitulado “*O fim do enigma dos raios cósmicos*”. A notícia não tem por objeto principal os buracos negros, somente há uma breve citação.

O décimo resultado da pesquisa é uma notícia de divulgação científica, publicada em vinte e três de fevereiro de 2009, que só apresenta o termo buracos negros como um dos títulos de um dos temas que será tratado no projeto que oferece palestras de divulgação científica ao público leigo, ‘Ciência às seis e meia’, este passará a ser exibido *on-line* e em tempo real.

O décimo primeiro item encontrado é a publicação de uma coluna intitulada “Terra em transe” que trata de assuntos relacionados ao meio-ambiente e natureza. Os buracos negros nesta notícia são apresentados só como uma breve comparação ao assunto que será discutido.

O décimo segundo resultado traz um escrito da coluna “Física sem mistério”, sob o título de “*A morte e a vida nos céus*”. Este lançamento da coluna discorre sobre o desenvolvimento estelar, seus variados “ciclos de vida”, de forma bastante didática para o publico leigo. Tendo sido publicado em dezesseis de novembro de 2007 e atualizado em quinze de dezembro de 2010, percebe-se uma passagem de dois anos no tempo, o que leva a concluir que a atualização ocorreu devido à alguma descoberta, retificação ou ratificação sobre algum dos objetos apresentados.

Os buracos negros são apresentados como o final de um caminho a ser seguido por estrelas de grande massa juntamente à algumas informações sobre este orbe. É utilizado uma ilustração de concepção artística da NASA, National Aeronautics and Space Administration, em sua legenda aparece uma breve informação.É citada brevemente uma das teorias à respeito dos buracos negros proposta pelo físico inglês Stephen Hawking, a radiação Hawking, um

tipo de radiação que seria emitida pelo buracos negros em algumas situações. Esta teoria ainda não obteve confirmação empírica nem teve mais contribuições teóricas.

A reportagem termina corroborando o mistério que ainda é o interior dos buracos negros e como para sua melhor compreensão seria necessário uma teoria que unificasse a teoria da relatividade geral à respeito da força gravitacional e a mecânica quântica que descreve os eventos atômicos. Não há nenhuma apresentação de crítica ou sugestão, no que diz respeito aos buracos negros, ou em qualquer outra parte da reportagem, esta é claramente expositiva, tendo como alvo o público leigo.

O seguinte item trata-se de uma notícia sobre astronomia e exploração espacial publicada em dezenove de agosto de 2011 e atualizada em seis de novembro do mesmo ano, intitulada “*Ainda não foi desta vez*”. A notícia informa a respeito da detecção das ondas gravitacionais, que em teoria poderiam ser geradas por objetos como buracos negros – o termo só é identificado ao ser usado para exemplificação logo no início da notícia – e como este fato pode influenciar os modelos do universo, que podem ou não serem plausíveis, entre outras conclusões.

O item seguinte também trata-se de uma notícia sobre astronomia e exploração espacial, intitulado “*Nova pista na busca pela matéria escura*”, publicado na data de dois de abril de 2009 e atualizado em sete de outubro de 2009, a notícia somente faz uma citação do termo para explicar o que são microquasares.

“*Acerca de Flatland*” é o título de um dos resultados encontrados, pertencendo à categoria de resenhas, publicado em vinte e três de maio de 2005 e atualizado em sete de dezembro de 2009, só faz uma citação aos buracos negros como um dos conceitos explicados em um dos livros.

Intitulado “*2001, uma odisséia além do teatro filmado*” é uma reportagem lançada na revista Ciência Hoje edição de número 285, comentando sobre o filme baseado no romance homônimo “*2001: Uma odisséia no espaço*”. Publicado em vinte e cinco de março de 2008 e atualizado em seis de novembro de 2009. O termo é usado em referência à especialidade de uma das pessoas que comentou o filme.

Publicado pela revista Ciência Hoje na edição de número 285 “*Fuga quase certa de um buraco negro*” trata-se de um conto de ficção. Este se tornou disponível no dia primeiro

de dezembro de 2007, e atualizado em vinte e três de setembro de 2009, no *site* da revista para *download* no formato PDF.

O autor utiliza-se de um conto fictício para explicar conceitos sobre os buracos negros, não os buracos negros em si, pois não há preocupação em dizer as origens dos buracos negros, já se é aceito como pressuposto que o leitor saiba o que eles são. Estes conceitos apresentados são mais precisamente: a radiação Hawking²¹ e como a informação é capaz de escapar de um buraco negro. É realizado um breve levantamento histórico sobre os buracos negros no início do conto, sobre quem foram os primeiros a levantar hipóteses à respeito dos mesmos, as datas, postulados que utilizaram até Hawking falar sobre a radiação emitida pelos buracos negros e sua evaporação. Por ser um dos que contribuíram para a corroboração da teoria de que a informação é capaz de escapar dos buracos negros, como é dito pelo mesmo no texto, o autor utiliza-se muito bem de analogias por meio do conto e introduz conceitos de forma que pessoas não leigas, mas que não são necessariamente especialistas, possam entender.

O conto inicia-se com um jovem que acorda em uma cama de hospital após ter sido atraído para dentro de um buraco negro, por estar vivo e bem ele fica confuso sobre como este fato era possível, e desta forma questiona a médica que o atende, e esta explica ao jovem que uma ambulância especial havia encontrado um buraco negro evaporando e haviam coletado a radiação à medida que o mesmo evaporava. Após terem decodificado a informação contida nas partículas da radiação reconstruíram o rapaz, seu diário e seu peixe-dourado como eram antes de terem caído na singularidade do buraco negro. O desenrolar da história leva a uma série de explicações complexas sobre os buracos negros e relacionados, como a radiação Hawking, etc.

O seguinte resultado trata-se da edição de número 276, na qual a coluna “Mundo de Ciência” apresenta uma breve citação de uma proposta de estudo por físicos brasileiros, porém este artigo da revista não encontrava-se disponível para leitura no *site* ou *download* em PDF.

²¹ Em 1974, Stephen Hawking sugeriu uma possível fonte de radiação formada próximo aos buracos negros, que poderia tirar alguma energia dele. A radiação Hawking está ligada à formação espontânea de pares partícula-antipartícula no vácuo. Em condições normais, estes pares são formados mas logo depois voltam a colidir, aniquilando-se. No entanto, os pares formados próximo ao horizonte de eventos de uma singularidade poderiam apresentar um comportamento diferente, com uma das partículas entrando no buraco negro e a outra distanciando-se dele. Um observador distante veria apenas a partícula que restou, e teria a impressão de que o buraco negro estaria emitindo radiação, a radiação Hawking.

“*Sonho em Genebra*” é o seguinte item, publicado em quatorze de outubro de 2010, na coluna “Alô, professor”, trata sobre o LHC, Large Hadron Collider, um acelerador de partículas citando brevemente ao final os buracos negros, como um dos assuntos que as pessoas querem atualmente conhecer.

O seguinte item trata-se de um artigo publicado na revista *Ciência Hoje* de número 281, em maio de 2011, intitulada “*Ciência Cidadã*” onde cita brevemente os buracos negros como um dos objetos a serem pesquisados.

Publicada na edição binacional comemorativa “Sem fronteiras” veiculada junto a edição de número 255, em dezembro de 2010 sob o título de “*Uma pergunta ‘capciosa’*” somente cita a expressão buracos negros brevemente para especificar quais eram os tipos de galáxias.

“*Muito além das três dimensões*” trata-se de uma entrevista com Lisa Randall publicada na revista de número 230 em setembro de 2006, sobre a teoria das supercordas e a unificação das quatro forças fundamentais dos universo: eletromagnética, nuclear fraca, nuclear forte e a gravitacional. Os buracos negros são citados brevemente como um exemplo de extremo da gravidade.

5.2.2 O Termo “Buraco Negro”

Ao utilizar o buscador disponibilizado pelo *site* utilizando como palavras-chave a expressão “buraco negro” foram encontrados alguns resultados iguais ao utilizar o termo “buracos negros”, os quais seriam: “*Mostrando a identidade*”, “*O céu de Ícaro e de Galileu*”, “*Partículas elementares à luz dos buracos negros*”, “*Combinação explosiva*”, “*A morte e a vida nos céus*”, “*2001, uma odisséia além do teatro filmado*”, “*Fuga quase certa de um buraco negro*”, “*Ciência Cidadã*” e “*Uma pergunta ‘capciosa’*”.

Foram citados somente os termos nos seguintes artigos: “*Perdidos no espaço*”, “*O que é um stranglet? Uma máquina aceleradora de partículas poderia gerar um buraco negro?*”, “*Dance enquanto é tempo*”, “*Hora de mudar*”, “*Morte anunciada na Via Láctea*”, “*Em contato com a ciência de ponta*”, “*Morre uma estrela*”, “*O futuro em jogo*” e “*Volume 43*”

5.3 CONCLUSÕES ACERCA DA PESQUISA

Através da análise dos dados da pesquisa foi possível chegar à algumas conclusões acerca da abordagem do tema dos buracos negros pela mídia – neste caso, mais especificamente, a imprensa escrita, representada pela revista de divulgação científica, de origem brasileira: *Ciência Hoje*.

Dos vinte e três resultados encontrados através da busca do termo “buracos negros” somente havia na realidade dezenove itens. Dos vinte e um encontrados na pesquisa por “buraco negro” havia somente dezoito itens distintos, sendo que a metade destes, nove itens, já haviam aparecido na pesquisa “buracos negros”, desta forma foram encontrados no total vinte e oito resultados. Dentro destes vinte e oito resultados encontrados foi possível notar duas categorias de abordagens nas matérias analisadas: as superficiais, na qual só há citações dos buracos negros e as aprofundas, nas quais há uma densidade maior de comentários acerca dos buracos negros.

As reportagens mais aprofundadas foram um número muito reduzido do total de resultados obtidos, somente três, que seriam: “*Partículas elementares à luz dos buracos negros*”, “*A morte e a vida nos céus*” e “*Fuga quase certa de um buraco negro*”. Já as reportagens superficiais representaram um número muito maior, vinte e cinco, mais do quádruplo do número de reportagens densas, nas quais somente há uma breve citação: “*Mostrando a identidade*”, “*O céu de Ícaro e de Galileu*”, “*Einstein em temporada carioca*”, “*Combinação explosiva*”, “*O fim do enigma dos raios cósmicos*”, “*Ciência às seis e meia*”, “*Terra em transe*”, “*Ainda não foi desta vez*”, “*Nova pista na busca pela matéria escura*”, “*Acerca de Flatland*”, “*2001, uma odisséia além do teatro filmado*”, “*Sonho em Genebra*”, “*Ciência Cidadã*”, “*Uma pergunta ‘capciosa’*”, “*Muito além das três dimensões*”, “*Perdidos no espaço*”, “*O que é um stranglet? Uma máquina aceleradora de partículas poderia gerar um buraco negro?*”, “*Dance enquanto é tempo*”, “*Hora de mudar*”, “*Morte anunciada na Via Láctea*”, “*Em contato com a ciência de ponta*”, “*Morre uma estrela*”, “*O futuro em jogo*” e “*Volume 43*”. Desta forma pode-se perceber que os buracos negros na maioria dos casos é somente utilizado como um termo referencial, sendo ilusório o número de resultados provindos do buscador, pois este não seleciona o conteúdo. É possível que haja tantas referências aos buracos negros, pois este nos últimos anos com o advento tecnológico vem tornadon-se um assunto em pauta, fazendo com que sejam utilizados em comparações, mas não sejam discorridos em profundidade.

É notável a repetição de alguns conceitos quando refere-se à buracos negros, principalmente quando tem-se por objetivo introduzir o tema a um público leigo ou pouco conhecedor, pois tenta-se utilizar generalizações ou analogia de conceitos, com o objetivo de simplificar o assunto. Estas recorrências podem ser caracterizadas em dois tipos: a comparativa de superioridade e a comparativa de senso comum.

A comparativa de superioridade trata-se de um fenômeno característico dos buracos negros, mas que é utilizada quase como uma causa propulsora à sua existência, na ilustração dos mesmos. Esta comparação se dá entre a força gravitacional gerada pelo buraco negro e a velocidade da luz no vácuo, e pode ser expressa na seguinte frase, presente em alguns artigos analisados sob forma variante, porém com o mesmo significado: objetos de gravidade tão forte que nem mesmo a luz é capaz de escapar. Uma possível causa desta recorrência é a magnitude que vêm implícita na frase, pois ao comparar a velocidade da luz no vácuo – segundo a teoria da relatividade é a máxima velocidade que pode ser alcançada, ou seja, não é possível mover-se de forma mais veloz que a luz no vácuo - têm-se a idéia de um campo gravitacional bastante forte, pois é capaz de conter a máxima velocidade que pode ser alcançada. Alguns artigos de revista que apresentaram esta ocorrência foram “*A morte e a vida nos céus*” e “*Fuga quase certa de um buraco negro*”, dois daqueles caracterizados como abordagens mais aprofundadas, corroborando o fato de estes conceitos não são somente utilizados em matérias que fazem análises breves, mas também naqueles mais aprofundados.

Já a comparativa de senso comum trata-se da utilização de termos de cunho sensacionalista, que talvez não tenham como objetivo, porém acabam por vilanizar os buracos negros, pois estes são tratados como grandes destruidores, do qual não é possível escapar, seriam o fim derradeiro. Utilizando termos como: “sugadores insaciáveis”, “sugada, sem chance de voltar ao nosso mundo”, “ralos cósmicos”. Este conceito foi encontrado tanto em abordagens mais aprofundadas como nas superficiais, sendo maioria nas superficiais, porém este resultado não permite tirar muitas conclusões, pois mesmo as matérias mais aprofundadas exibem grandes diferenças, assim como existe um número muito maior das mesmas – as superficiais totalizam vinte e cinco matérias, não permitindo uma análise comparativa com margem a generalizações, exemplos destas reportagens são: “*Combinação explosiva*”, “*O fim do enigma dos raios cósmicos*”, “*Dance enquanto é tempo*”, “*Partículas elementares à luz dos buracos negros*” e “*Mostrando a identidade*”. A utilização de adjetivos deste gênero contribui para a popularização e difusão do assunto no corpo social, porém o conhecimento que muitas

vezes é transmitido por ser tendencioso, é incorreto, fazendo com que crie-se um mito à respeito dos buracos negros.

Mito este que estendeu-se durante um longo período de tempo, só atualmente com os desenvolvimento de uma tecnologia de pesquisa e os resultados que eles vem divulgando começa-se a retomar o tema dos buracos negros nas formas de divulgação de notícias. Apesar deste tema ainda ser analisado pelos meios de divulgação sob um estigma de destruidor, vislumbra-se uma mudança neste conceito errôneo.

Pode-se atribuir muito desta mudança a teoria levantada recentemente de que haveria buracos negros supermassivos no centro das galáxias, primeiro acreditava-se que só nas espirais, atualmente já acredita-se que seja no centro de todas. Esta notícia parece ser o propulsor que trouxe à tona novamente esse tema, juntamente com a questão de quem teria dado origem a quem, se os buracos negros às galáxias ou as galáxias aos buracos negros. Trazendo uma visão na qual o buraco negro poderia ser aquele responsável pela formação da vida, mesmo que indiretamente.

6 CONCLUSÃO

A cosmologia moderna teve início com a teoria da relatividade de Albert Einstein, que incorporou as questões gravitacionais, as relações espaço-tempo e a distribuição da matéria no Universo. É sob a luz dessa teoria, da mecânica quântica e das observações astronômicas que as atuais teorias sobre o Universo estão fundamentadas.

A Teoria dos buracos negros é uma destas teorias, originada diretamente da resolução de campo da relatividade geral, ela traz à luz uma gama surpreendente de possibilidades ao distorcer as propriedades da física.

Das equações de campo resultaram quatro tipos de buracos negros distintos, o primeiro foi o buraco negro de Schwarzschild, que tinha somente massa, podendo ser originado de qualquer coisa quando a comprimida a seu raio de Schwarzschild. Depois houve a resolução do buraco negro de Reissner-Nordstörn – estes físicos trabalharam em tempos distintos sem terem conhecimento dos trabalhos um do outro, caracterizado por massa e carga elétrica, neste já começaram a pensar que nem todos os corpos poderiam tornar-se buracos negros, ao menos não naturalmente. O que é considerado um marco das descobertas das características dos buracos negros é o de Kerr, pois este introduziu a terceira e última característica que um buraco negro pode ter, isto é o momento angular, este também tinha massa. O quarto e último tipo reúne as três características dos buracos negros: massa, carga e momento angular, o buraco negro de Kerr-Newman é aquele que foi associado as estrelas, devido as suas propriedades.

Existem atualmente diversos outros tipos de buracos negros, que não provém da teoria da relatividade diretamente, porém estes outros buracos negros não puderam ser estudados mais a fundo devido ao tempo, se fosse possível estudá-los haveria como fazer uma comparação entre estes primeiros buracos negros, originados diretamente de equações matemáticas e os mais novos, que partiram destes, mas que apresentam provas práticas de sua existência devido a monitoramentos cosmológicos, como os buracos negros localizados nos centros das galáxias, ou aqueles que provém de outras teorias, como os miniburacos negros e os buracos negros primordiais.

Para poder estudar os buracos negros antes foi necessário entender como eles são formados, portanto foi preciso estudar o desenvolvimento estelar. Um fato curioso com o qual me deparei durante minha pesquisa foi a falta de comentários sobre a passagem de paradigma

de como os buracos negros seriam formados, inicialmente tem-se sua origem prevista por equações, sem provas concretas de sua existência, estas só consideram valores de massa – estes valores não precisam estar associados as estrelas, mas mesmo assim em todas as fontes pesquisadas afirma-se que os buracos negros são formados a partir das Wolf-Rayet – ou estrelas de grande massa. Parece-me que estas foram os únicos objetos que reuniram todas as características possíveis para tornar-se um buraco negro naturalmente, porém este fato não foi explicitado em nenhuma fonte de pesquisa nem esta transição.

Também foi preciso entender a gravidade e o comportamento da luz, portanto foi preciso estudar a teoria da relatividade e a mecânica quântica, assuntos complexos, para os quais eu não possuía nenhum aporte teórico ou qualquer tipo de conhecimento que não fosse bem básico ou provindo do senso comum, tornando complicada a tarefa de entendê-los.

Ao realizar a leitura crítica das reportagens disponibilizadas pelo site da revista Ciência Hoje utilizando o método de análise de conteúdo de Laurence Bardin, – que consiste em analisar repetições e criar categorias comparativas, foi possível perceber a recorrência de alguns aspectos, como a vilanização dos buracos negros, ele é visto como um destruidor supremo. Foi possível notar também que a maior parte das reportagens trata superficialmente do tema dos buracos negros, não há nenhuma explicação histórica, ou sequer de informação de onde surgiu a teoria.

Todavia também é possível perceber uma mudança de visão a respeito dos buracos negros, ao menos em minha opinião, devido a sua grande divulgação na mídia atualmente. Este fato deve-se as novas descobertas, principalmente a respeito da presença de um buraco negro no centro das galáxias e suas implicações, a partir do surgimento de uma nova teoria, a qual sugere a hipótese de que as galáxias teriam sido formadas devido a presença da atração gravitacional dos buracos negros. Ao torná-los quase que responsável pela formação da vida, mesmo que indiretamente, faz com que os buracos negros deixem de ser vistos como algo mítico, pois estes passam a ser vistos como reais, relacionados às pessoas e explicados mais profundamente por parte da divulgação científica.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, D. (s.d.). *Mostrando a identidade*. Acesso em 28 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2010/10/mostrando-a-identidade/?searchterm=Buracos%20Negros>

CAEEGNATO, Rita; MUTTI, Regina. *Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo*. 2006. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CALIFE, J. L. (s.d.). *2001, uma odisséia além do teatro filmado*. Acesso em 29 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2001-uma-odisseia-alem-do-teatro-filmado/?searchterm=2001, uma odisséia além do teatro filmado>

CAMELO, T. (s.d.). *Hora de mudar*. Acesso em 03 de outubro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/alo-professor/intervalo/hora-de-mudar/?searchterm=Hora de mudar>

CARRON, Wilson; GUIMARÃES, Osvaldo. *As faces da física: volume único*. 3.ed. São Paulo: Moderna, 2006.

Ciência Cidadã. (s.d.). Acesso em 03 de outubro de 2011, disponível em Ciência Hoje: http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2011/281/pdf_aberto/cienciacidada281.pdf/view?searchterm=buracos%20negros

Combinação explosiva 2: a suposta causa. (s.d.). Acesso em 28 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/blogues/bussola/combinacao-explosiva-2-a-suposta-causa/?searchterm=Buracos%20Negros>

Combinação explosiva. (s.d.). Acesso em 28 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/blogues/bussola/combinacao-explosiva/?searchterm=COMBINAÇÃO EXPLOSIVA>

Dance enquanto é tempo. (s.d.). Acesso em 03 de outubro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/blogues/bussola/dance-enquanto-e-tempo/?searchterm=Dance enquanto é tempo>

Diagrama de Hertzprung Russell. Wikipedia. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Hertzprung-Russell. Acesso em 20 de abril de 2011.

DOTTORI, Horacio et al. Acesso em 19 de dezembro de 2011, disponível em Observatório educativo itinerante: http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/rgb/rgb_evol.htm

ELLIS, Alan. Black Holes – Part 1 – History. *Astronomical Society of Edinburgh*, n39, summer, 1999. Disponível em: <http://www.astronomyedinburgh.org/publications/journals/39/blackholes.html>. Acesso em 25 de Junho de 2011

FELTRE, Ricardo. *Fundamentos da Química: volume único*. 4. ed. São Paulo: Moderna, 2005.

FERGUSON, Kitty. *Prison of light*; Cambridge: Cambridge University, 1996.

FERNANDES, T. (s.d.). *Morre uma estrela*. Acesso em 03 de outubro de 2011, disponível em Ciência Hoje: [http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/astrologia-e-exploracao-espacial/morre-uma-estrela/?searchterm=Morre uma estrela](http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/astrologia-e-exploracao-espacial/morre-uma-estrela/?searchterm=Morre%20uma%20estrela)

FRAGA, I. (s.d.). '*Ciência às seis e meia*' na rede. Acesso em 29 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/divulgacao-cientifica/2018ciencia-as-seis-e-meia2019-na-rede/?searchterm=Buracos%20Negros>

FERNANDES, T. (s.d.). *O fim do enigma dos raios cósmicos*. Acesso em 28 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/astrologia-e-exploracao-espacial/o-fim-do-enigma-dos-raios-cosmicos/?searchterm=Buracos%20Negros>

FOLTRA, R. (s.d.). *Em contato com a ciência de ponta*. Acesso em 03 de outubro de 2011, disponível em Ciência Hoje: [http://cienciahoje.uol.com.br/alo-professor/intervalo/em-contato-com-a-ciencia-de-ponta/?searchterm=Em contato com a ciência de ponta](http://cienciahoje.uol.com.br/alo-professor/intervalo/em-contato-com-a-ciencia-de-ponta/?searchterm=Em%20contato%20com%20a%20ciencia%20de%20ponta)

GASPAR, Alberto. *Física – volume único*; São Paulo: editora ática, 2008.

GUIMARÃES, J.R.D. (s.d.). *Mas o que isso tem a ver com o meio ambiente?*. Acesso em 29 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/terra-em-transe/mas-o-que-isso-tem-a-ver-com-meio-ambiente/?searchterm=Buracos%20Negros>

HECKERT, Paul. *Origin of the Idea of Black Holes: Corps Obscura to Schwarzschild's Solution to Einstein's Equation*. Disponível em: <<http://www.suite101.com/content/origin-of-the-idea-of-black-holes-a29798>>. Acesso em 25 de Junho de 2011.

Hertz. Wikipedia. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Hertz>>. Acesso em 15 de maio de 2011.

KODAMA, T. (s.d.). *que é um stranglet? Uma máquina aceleradora de partículas poderia gerar um buraco negro?*. Acesso em 03 de outubro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/revista-ch-2006/228/o-que-e-um-strangelet-uma-maquina-aceleradora-de>

LEAL, T. (s.d.). *Morte anunciada na Via Láctea*. Acesso em 03 de outubro de 2011, disponível em Ciência Hoje: [http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/astrologia-e-exploracao-espacial/morte-anunciada-na-via-lactea/?searchterm=Morte anunciada na Via Láctea](http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/astrologia-e-exploracao-espacial/morte-anunciada-na-via-lactea/?searchterm=Morte%20anunciada%20na%20Via%20Lactea)

LLOYD, S. (s.d.). *2001 Fuga quase certa de um buraco negro*. Acesso em 29 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: [http://cienciahoje.uol.com.br/banco-de-imagens/lg/protected/ch/244/buraconegro244.pdf/view?searchterm=Fuga quase certa de um buraco negro](http://cienciahoje.uol.com.br/banco-de-imagens/lg/protected/ch/244/buraconegro244.pdf/view?searchterm=Fuga%20quase%20certa%20de%20um%20buraco%20negro)

LOPES, Dalton de Faria. *Como as estrelas se formam?*. Rio de Janeiro, 3 de maio de 2011. Acesso em 15 de Junho de 2011. Observatório Nacional. Disponível em: <http://www.on.br/site_edu_dist_2011/site/conteudo/modulo3/1-o-inicio-como-as-estrelas-se-formam/2-como-as-estrelas-se-formam.html>

MACIEL, W. J. Hidrodinâmica e Ventos Estelares: uma Introdução, 224pp, 16x23 cm, 2005, ISBN 85-314-0865-2, Editora da USP. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/~maciel/teaching/livros/livro8.html>>. Acesso em 20 de abril de 2011.

MARQUES, N. (s.d.). *Acerca de Flatland*. Acesso em 29 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/resenhas/um-romance-de-muitas-dimensoes-mas-pouca/acerca-de-flatland/?searchterm=Buracos%20Negros>

MATSAS, G.E., et al. (s.d.). *Partículas elementares à luz dos buracos negros*. Acesso em 20 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/banco-de-imagens/lg/protected/pass/ch182/buraco.pdf/view?searchterm=Buracos%20Negros>

MOEHLECKE, R. (s.d.). *Perdidos no espaço*. Acesso em 03 de outubro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/pedagogia/perdidos-no-espaco/?searchterm=Perdidos no espaço>

MOREIRA, J.(s.d.).*Quem nasceu primeiro: a galáxia ou o buraco negro?* Acesso em 11 de novembro de 2010, disponível em Observatório Nacional: http://www.on.br/conteudo/informe/quem_nasceu.pdf

MOUTINHO, S. (s.d.). *Ainda não foi desta vez*. Acesso em 29 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/astrofisica-e-exploracao-espacial/ainda-nao-foi-desta-vez/?searchterm=Buracos%20Negros>

NETTO, J.T.M. (s.d.). *O céu de Ícaro e de Galileu*. Acesso em 28 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2010/276/o-ceu-de-icaro-e-de-galileu/?searchterm=Buracos%20Negros>

NICOLSON, Ian. *Gravidade, buracos negros e o universo*; Tradução: Sérgio Augusto Teixeira. Rio de Janeiro: F. Alves, 1983.

OLIVEIRA, A. (s.d.). *A morte e a vida nos céus*. Acesso em 29 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/fisica-sem-misterio/a-morte-e-a-vida-nos-ceus/?searchterm=Buracos%20Negros>

Other Galaxies and Active Galaxies Disponível em:

<<http://abyss.uoregon.edu/~js/ast123/lectures/lec13.html>>. Acesso em 20 de abril de 2011.

Onda. Wikimídia. Disponível

em:<<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/Onda.png>>. Acesso em 15 de maio de 2011.

PARKER, Barry. *O sonho de Einstein*; Tradução: Carlos Pina e Brito. Rio de Janeiro: Edições 70, 1990.

PIRES, Antônio Marcelo. Das Leis de Newton para o Sol. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Rio Grande do Sul, 2002. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008_02/Marcelo/fusaotermonuclear.html>. Acesso em: 20 de abril de 2011.

RANDALL, L. (s.d.). *Muito além das três dimensões*. Acesso em 03 de outubro de 2011, disponível em Ciência Hoje:

<http://cienciahoje.uol.com.br/banco-de-imagens/lg/protected/ch/230/entrevista.pdf/view?searchterm=buracos%20negros>

RANGEL, L. (s.d.). *Einstein em temporada carioca*. Acesso em 20 de setembro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2010/04/einstein-em-temporada-carioca/?searchterm=Buracos%20Negros>

SAGAN, Carl. Cosmos. Cosmos Studios. Rio de Janeiro: Abril, s.d. v.1. 1 DVD (178 min), son., color.

SAGAN, Carl. Cosmos. Cosmos Studios. Rio de Janeiro: Abril, s.d. v.2. 1 DVD (120 min), son., color.

SAGAN, Carl. Cosmos. Cosmos Studios. Rio de Janeiro: Abril, s.d. v.3. 1 DVD (180 min), son., color.

SAGAN, Carl. Cosmos. Cosmos Studios. Rio de Janeiro: Abril, s.d. v.4. 1 DVD (180 min), son., color.

SAGAN, Carl. Cosmos. Cosmos Studios. Rio de Janeiro: Abril, s.d. v.5. 1 DVD (120 min), son., color.

SHELLARD, R.C.(s.d.). *Uma pergunta ‘capciosa’*. Acesso em 03 de outubro de 2011, disponível em Ciência Hoje: http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/revista-ch-2008/255b/pdf_aberto/Uma%20pergunta%20capciosa.pdf/view?searchterm=buracos%20negros

TAYLOR, John. *Buraco negro: o supremo desconhecível*; Tradução: Aldo Bocchini Neto. Revisão técnica: Ronaldo Rogério de Freitas Mourão. Rio de Janeiro: F. Alves, 1980.

The Eletromagnetic Spectrum. Wikimidea. Disponível em: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/EM_Spectrum3-new.jpg>. Acesso em 15 de maio de 2011.

Volume 43. (s.d.). Acesso em 03 de outubro de 2011, disponível em Ciência Hoje: http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/indices/indice_vol43_259.pdf/view?searchterm=Volume 43

WALTZ, I. (s.d.). *O futuro em jogo*. Acesso em 03 de outubro de 2011, disponível em Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/politica-cientifica/o-futuro-em-jogo/?searchterm=O futuro em jogo>