



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JULIO DE MESQUITA FILHO"  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS  
EXATAS



Trabalho de Conclusão de Curso  
Curso de Graduação em Física

ENSINO DE FÍSICA COM HISTÓRIAS EM QUADRINHOS:  
O ASTRONAUTA EM MAGNETAR

Gustavo Ferraz de Barros

Prof. Dr. Eugenio Maria de França Ramos  
(orientador)

Rio Claro (SP)

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

Gustavo Ferraz de Barros

ENSINO DE FÍSICA COM HISTÓRIAS EM QUADRINHOS:  
O ASTRONAUTA EM MAGNETAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -  
Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual  
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção  
do grau de Licenciado em Física.

Rio Claro - SP

2015

530.07 Barros, Gustavo Ferraz de  
B277e Ensino de física com histórias em quadrinhos: o  
astronauta em Magnetar / Gustavo Ferraz de Barros. - Rio  
Claro, 2016  
91 f. : il., figs., quadros

Trabalho de conclusão de curso (licenciatura - Física) -  
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e  
Ciências Exatas

Orientador: Eugenio Maria de França Ramos

1. Física – Estudo e ensino. 2. Ensino de astrofísica. 3.  
Ensino de astronomia. 4. HQ. I. Título.

Gustavo Ferraz de Barros

ENSINO DE FÍSICA COM HISTÓRIAS EM QUADRINHOS:  
O ASTRONAUTA EM MAGNETAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Comissão Examinadora

Eugenio Maria de França Ramos (orientador)

João Eduardo Fernandes Ramos

Luiz Antonio Barreiro

Rio Claro, 06 de janeiro de 2016

Assinatura do aluno

assinatura do orientador

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por ter me abençoado e ter me dado a oportunidade de poder estudar aquilo que eu mais gosto, e também por ter me dado uma família e amigos que me apoiaram em todos os momentos.

Agradeço aos meus pais Maria e Gilberto, por tudo que fizeram e farão por mim, por nunca medirem esforços para que eu pudesse realizar os meus sonhos. Muito obrigado por todos os sacrifícios que vocês fizeram, por todos os momentos que vocês compartilharam comigo, por todo o amor, toda a dedicação e por todas as broncas, graças a tudo isso me tornei o homem que sou hoje.

A minha irmã Camila, por todos os momentos especiais ao meu lado, fosse fazendo muito Rock and Roll no baixo e na guitarra, jogando futebol e muito videogame, mas em específico, por ser a pessoa mais importante em minha vida, junto aos meus pais.

Aos meus avós, aos meus tios e tias e aos meus primos, por todo o apoio.

Aos meus amigos da turma de 2012 de curso de Física da UNESP de Rio Claro, e aos demais agregados que se juntaram ao grupo. Aos amigos e companheiros de PEF.

A todos os professores do Departamento de Física, Departamento de Matemática e do Departamento de Educação e aos técnicos do Departamento de Física.

Ao Prof. João Eduardo Fernandes Ramos, por ter me apresentado a linha de pesquisa com métodos alternativos de Ensino (inclusive a HQ) e por todo o apoio e ajuda nos momentos necessários.

Ao meu professor orientador Dr. Eugenio Maria de França Ramos, pela amizade, paciência, por todos os momentos de discussão e reflexão que nos proporcionou ter novas visões a respeito do Ensino e em específico, por me motivar a seguir como docente, mostrando todas as vertentes desta, que é a mais bela das profissões. Obrigado também por ter me apoiado e motivado em todo o processo de realização deste Trabalho de Conclusão de Curso e por esses últimos dois anos no PIBID Física.

Aos professores Dr. Eugenio Maria de França Ramos, João Eduardo Fernandes Ramos, Dr. Luiz Antonio Barreiro e Dra. Maria Antônia Ramos de Azevedo por aceitarem fazer parte de minha banca.

## RESUMO

*Esta monografia tem como tema inspirador o uso de Histórias em Quadrinhos (HQ) no Ensino de Física. Os Quadrinhos são objetos que fazem parte do nosso cotidiano atual, em jornais, revistas, gibis e meios eletrônicos, e proporcionam entretenimento aos leitores. Além dessa característica, a natureza lúdica e linguística tornam tal material interessante quando aplicadas a Educação. O nosso objetivo foi o de pesquisar e analisar uma História em Quadrinhos que pudesse ser utilizada em uma aula de Física. O material escolhido foi Astronauta Magnetar de Danilo Beyruth. Com esta HQ, realizamos um minicurso com alunos das três séries do Ensino Médio, onde trabalhamos os temas Astrofísica e Eletromagnetismo. A partir dos resultados deste minicurso, elaboramos uma série de comentários e discussões a respeito do papel das Histórias em Quadrinhos dentro de uma sala de aula, como um instrumento significativo para o Ensino de Física.*

*Palavras-Chave: Ensino de Física, Histórias em Quadrinhos, Magnetar, Ensino de Astrofísica, Astronauta.*

## **ABSTRACT**

*This monograph has the inspiring theme using Comic Books in physics education. The Comic Books are objects, which are part of our current daily life, in newspaper, magazines, comics and electronic media, and providing entertainment to the readers. Beyond this property, the ludic nature and linguistics become an interesting material when applied on Education. Our goal was to research and analyze a Comic Book that could be used in a Physics class. The chosen material was Astronauta Magnetar from Danilo Beyruth. With this Comic Book, we perform a short course with students from three High School grade, where the themes of labor were Astrophysics and Electromagnetism. From the results of this short course, we prepared a lot of comments and discussions about the role of Comic Books in a classroom, as an significant instrument for Physics Education.*

*Keywords: Physics Education, Comic Books, Magnetar, Astrophysics Education, Astronauta.*

"A pressão nos deixa mais fortes  
A luta nos deixa famintos  
As duras lições fazem a diferença  
E a diferença faz valer a pena"

Fireflight / Rob Hawkins

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Tirinha Turma da Mônica sobre referencial (CARRON; GUIMARÃES, 2006, p.21) .....	14
Figura 2. Eletrização por atrito (Reproduzido de GONICK; HUFFMAN, 1994, p.106). .....	15
Figura 3. The Yellow Kid - Richard Felton Outcault, 1895.....	18
Figura 4. Buck Rogers - Dick Calkins.....	18
Figura 5. Robô, Jim Meddick – (GREF, 1998, p. 16).....	19
Figura 6. Relação tríade entre lúdico, lazer e prazer.....	26
Figura 7. Reprodução da capa Astronauta Magnetar (BEYRUTH, 2014). .....	27
Figura 8. Representação do Astronauta perdido em meio ao espaço (BEYRUTH,2014, P.68 E 69). .....	28
Figura 9. Personagem original de Mauricio de Sousa (BEYRUTH, 2014, P.80). .....	29
Figura 10. Personagem de Beyruth (BEYRUTH, 2014) .....	30
Figura 11. Trecho da decupagem feita por nós.....	31
Figura 12. Mapa conceitual das grandes da área da Física abordados na HQ.....	32
Figura 13. Mapa conceitual dos conceitos físicos vinculados ao Magnetar .....	32
Figura 14. Conceitos físicos vinculados ao Magnetar que serão trabalhados.....	33
Figura 15. Diagrama Hertzsprung - Russel para o sol, a 18 de escorpião e as duas estrelas do sistema duplo 16 do cisne (MELLO, 2004, p.262) .....	35
Figura 16. Estrela Sirius B localizada na constelação de Cão Maior (Crédito da Imagem: NASA, ESA, H. Bond (STScI) and M. Barstow (University of Leicester).....	38
Figura 17. Imagem estrela de nêutrons XTE J1810-197 tirada em 1992 (Crédito da imagem: ROSAT/M. Roberts.....	39
Figura 18. Modelo de uma estrela de nêutrons de 1,4 MSol (CARROL; OSTLIE, 1996, p.603) .....	42
Figura 19. Representação fluxo magnético em uma superfície dA (CARROL; OSTLIE, 1996, p. 606).....	45
Figura 20. Representação força magnética sobre carga (Nussenzveig, 1997, p.128). .....	49
Figura 21. Linhas de campo magnético internas e externas em uma barra de ímã (TIPLER; MOSCA, 2006, 1996).....	51
Figura 22. Espira num campo B (NUSSENZVEIG, 1997, p. 162) .....	55
Figura 23. Etapas para a realização do Estudo de Texto.....	61
Figura 24. HQ's de diferentes editoras.....	63
Figura 25. Experimento gerador de corrente alternada.....	64
Figura 26. Experimento bússola caseira de baixo custo. ....	64
Figura 27. Fala dos diferentes personagens da HQ e sua divisão para a leitura oral. .....	69
Figura 28. Definição de Magnetar na HQ por Beyruth (Beyruth, 2004, p.11). .....	70
Figura 29. História em Quadrinhos produzido pelo aluno A1 por meio da releitura de um desenho animado.....	74
Figura 30. História em Quadrinhos produzido pelo aluno A2 .....	75
Figura 31. Poesia produzido pelo aluno A3.....	76
Figura 32. Poesia produzido pelo aluno A4.....	77

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Possíveis estágios finais de uma estrela (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2014, p. 263). .....	37
Quadro 2. Valores para o campo geomagnético (ERNESTO; MARQUES, 2003). ...	52
Quadro 3. Equações de Maxwell (HALLIDAY ET AL; 1996, p.315). .....	58
Quadro 4. Relação entre nossas aulas e as etapas do Estudo de texto. ....	63
Quadro 5. Estrutura das aulas e os instrumentos utilizados. ....	65
Quadro 6. Comparação entre as dimensões físicas da Terra e de um Magnetar. ....	72

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1. Relação entre luminosidade e massa de uma estrela.....	36
Equação 2. Estimativa do raio de uma estrela de nêutrons. ....	40
Equação 3. Relação entre massa e volume de uma Estrela de Nêutrons. ....	43
Equação 4. Período de rotação de uma anã branca .....	44
Equação 5. Campo magnético de uma estrela de nêutrons aproximado .....	46
Equação 6. Radiação de corpo neutro para uma estrela de nêutrons .....	47
Equação 7. Força magnética.....	50
Equação 8. Fluxo magnético que atravessa uma superfície gaussiana fechada. ....	53
Equação 9. Lei de Faraday. ....	55

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 AS HISTÓRIAS EM QUADRINHOS NO AMBIENTE EDUCACIONAL</b> .....	17
2.1 A História por trás dos Quadrinhos .....	17
2.2 As Histórias em Quadrinhos nos livros didáticos .....	18
2.3 Histórias em Quadrinhos como um Instrumento no Ensino de Física .....	21
2.4 A linguagem .....	22
2.5 A ludicidade .....	24
<b>3 HQ E NOSSA PESQUISA</b> .....	27
3.1 Astronauta em Magnetar .....	28
3.2 O processo de decupagem do Quadrinho Magnetar .....	30
3.3 Conceitos físicos explorados em Magnetar .....	31
3.4 Conceitos físicos a serem trabalhados .....	32
<b>4 TEORIA FÍSICA</b> .....	34
4.1 Astrofísica .....	34
4.1.1 O nascimento das estrelas .....	34
4.1.2 A sequência principal do diagrama HR .....	35
4.1.3 Evolução Final das Estrelas .....	36
4.1.4 Estrelas de Nêutrons .....	39
4.1.5 Características Físicas das Estrelas de Nêutrons .....	39
4.1.6 O movimento de rotação .....	43
4.1.7 O campo magnético .....	45
4.1.8 Temperatura das Estrelas de Nêutrons .....	46
4.1.9 A descoberta do Magnetar .....	48
4.2 Eletromagnetismo .....	49
4.2.1 Definição de Campo Magnético (B) .....	49
4.2.2 Linhas de campo magnético .....	51
4.2.3 O campo magnético da Terra .....	51
4.2.4 Lei de Gauss para o Magnetismo e o Fluxo Magnético .....	53
4.2.5 Lei da Indução de Faraday .....	54
4.2.6 Lei de Lenz .....	56
4.2.7 O Magnetismo e o Elétron .....	56
4.2.8 Paramagnetismo .....	57
4.2.9 Ferromagnetismo .....	57
4.2.10 Diamagnetismo .....	58
4.2.11 Equações de Maxwell .....	58

<b>5 A PESQUISA</b> .....	59
5.1 Aspectos Gerais e Objetivos.....	59
5.2 Caracterização da Escola .....	60
5.3 Metodologia de Pesquisa.....	60
5.4 O Estudo de Texto como técnica de Ensino .....	60
5.5 O desenvolvimento do Minicurso e os Instrumentos utilizados.....	63
5.6 O Estudo de Texto como gerador de um novo texto .....	65
<b>6 RELATOS DAS EXPERIÊNCIAS DE ENSINO</b> .....	67
6.1 Primeira Aula .....	67
6.2 Segunda Aula .....	70
6.3 Terceira Aula .....	71
6.4 Quarta Aula.....	73
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	80
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	82
<b>APÊNDICE A</b> .....	84

## 1 INTRODUÇÃO

As Histórias em Quadrinhos (HQ) têm se mostrado um importante instrumento artístico, capaz de divertir e influenciar gerações, com um formato e linguagem popular de fácil compreensão (TESTONI e ABIB, 2005).

Segundo Vergueiro (2005), nos países de língua inglesa, elas são conhecidas como “comics” ou “comics books”, devido aos aspectos cômicos contidos nelas. Os franceses as chamam de “bandes dessinées”, devido à forma como foram publicadas tradicionalmente em “bandas desenhadas”, nomenclatura adotada por Portugal e suas colônias, com exceção do Brasil. Os espanhóis as chamam de “tebeos”, derivada do nome de uma popular revista voltada ao público infantil, que publicava as histórias em forma de quadros. Os países latino-americanos, optaram pela expressão “historietas”, enquanto os japoneses as chamam de “mangás”. No Brasil, após uma controvérsia sobre o uso do termo “estória” ou “história”, parece ter se consagrado o termo “histórias em quadrinhos”, também abreviadas pela sigla HQ. Porém, muitos leitores antigos as chamam de “gibis”, reproduzindo uma apropriação linguística de uma popular revista brasileira.

Vergueiro faz uma importante colocação a respeito da nomenclatura dos Quadrinhos, de acordo com a sua finalidade:

A expressão brasileira histórias em quadrinhos, bem como a portuguesa, histórias aos quadrinhos, parecem ser as que melhor se aproximam do objetivo, pois evidenciam os dois elementos básicos inerentes ao meio, enfatizando que ele constitui uma forma narrativa composta por uma sequência de quadros pictográficos. (VERGUEIRO, 2005, p.1-2)

Podemos dividir as Histórias em Quadrinhos em diferentes gêneros narrativos, como: a) uma charge<sup>1</sup> apenas como um desenho que representa uma situação ou fato específico, b) uma tirinha<sup>2</sup>, que forma uma ação com um desenrolar breve, c) as Graphic Novels<sup>3</sup>, que são histórias mais longas de conteúdo mais complexo.

---

<sup>1</sup> Histórias curtas, que se desenvolvem em no máximo dois quadros, sempre tendo como teor cômico a sátira, seja política ou social. São populares em jornais e meios eletrônicos.

<sup>2</sup> Histórias que desenvolvem em no máximo quatro quadros, possuindo começo, meio e fim definidos. Possuem um teor cômico, procurando sempre abordar um tema que leve o leitor a refletir. São populares em jornais, revistas, gibis e em meios eletrônicos.

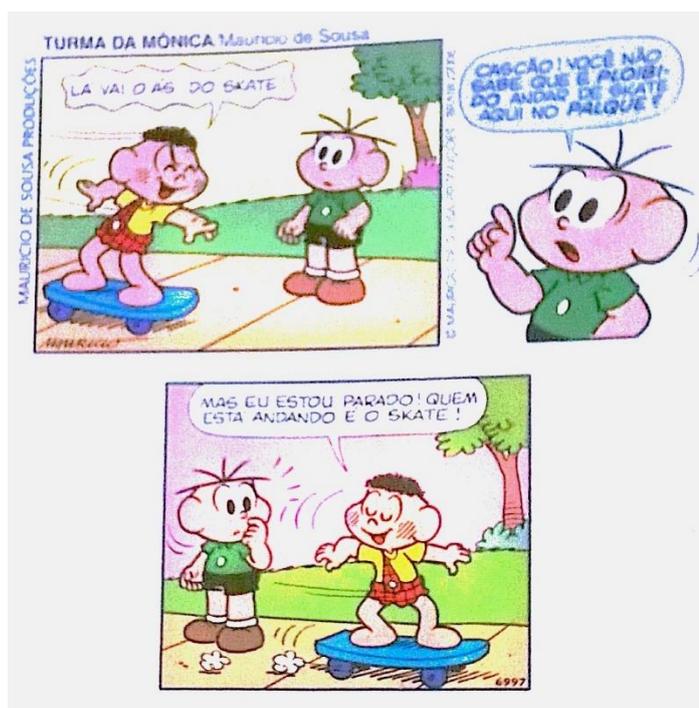
<sup>3</sup> Histórias longas, que se desenvolvem em muitos quadros, possuindo enredo completo com começo, meio e fim bem definidos. Elas são uma HQ em forma de novela, sendo um formato popular entre os leitores de Quadrinhos.

As Histórias em Quadrinhos são um objeto que fazem parte do nosso cotidiano atual, em jornais, revistas gibis e meios eletrônicos, sendo um tipo de material que estamos em constante contato, seja com as tiras (ou popularmente chamadas de tirinhas) dos jornais, passando pelas publicações brasileiras, como os populares Quadrinhos da Turma da Mônica de Mauricio de Sousa ou, até mesmo nas revistas mensais de super-heróis como Homem Aranha e Batman.

As Histórias em Quadrinhos possuem outras características, além de proporcionar o entretenimento aos seus leitores. Sua natureza lúdica e linguística, associando texto e imagem, tornam tais materiais interessantes quando aplicadas a Educação. Como Testoni e Abib discutem:

O fato de estarmos tratando de um instrumento de caráter cotidiano, de cunho popular e fácil interpretação, aliado com as demais características relacionadas ao aspecto lúdico, linguístico e psicológico dos desenhos e da narrativa, leva-nos a considerar os Quadrinhos como uma estratégia potencial para o ensino de física. (TESTONI; ABIB, 2005, p.1)

A aplicação dos Quadrinhos no meio Educacional, fica evidente quando analisamos alguns livros didático. Livros de Física, que trazem algumas tirinhas, procuram debater e expor de maneira cômica muitas vezes um conceito físico, explorando a ludicidade oferecida por uma História em Quadrinhos.



**Figura 1.** Tirinha Turma da Mônica sobre referencial (CARRON; GUIMARÃES, 2006, p.21)

Um exemplo mais radical é o livro Introdução Ilustrada à Física (GONICK; HUFFMAN, 1996), onde temos um livro de Física inteiramente ilustrado na forma de Histórias em Quadrinhos (figura 2).



**Figura 2.** Eletrização por atrito (Reproduzido de GONICK; HUFFMAN, 1994, p.106).

Esses aspectos, foram foco e inspiração deste estudo, na forma de um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) da Licenciatura em Física, onde buscamos pesquisar e analisar um material bibliográfico (pelo menos uma História em Quadrinhos) que pudesse ser utilizada em uma aula de Física.

Também foi possível realizar, no âmbito da parceria com o PIBID Física Rio Claro em uma das atividades desenvolvidas com uma de nossas escolas parceiras, um minicurso onde Histórias em Quadrinhos foram utilizadas. PIBID é o Programa Institucional de Iniciação à Docência (PIBID) do Governo Federal Brasileiro por meio da Fundação CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior) do Ministério da Educação. No município de Rio Claro (SP) se realizam subprojetos aprovados no Edital 2013, num grande projeto institucional da UNESP (Universidade Estadual Paulista) para o período 2014 - 2017, que compreende 57

subprojetos de diferentes áreas do conhecimento. Um deles é o PIBID Física Rio Claro, dedicado a Iniciação à Docência de estudantes da Licenciatura em Física da UNESP, realizado no Instituto de Biociências e em duas escolas parceiras da Rede Pública Estadual, envolvendo um professor universitário (coordenador), quatorze bolsistas de graduação (bolsistas PIBID) e duas professoras da Educação Básica (supervisoras).

A partir dos resultados desse minicurso, elaboramos uma série de comentários e discussões a respeito do papel das Histórias em Quadrinhos dentro de uma sala de aula, como um instrumento adicional para o Ensino de Física.

## 2 AS HISTÓRIAS EM QUADRINHOS NO AMBIENTE EDUCACIONAL

### 2.1 A História por trás dos Quadrinhos

Para buscarmos evidências das origens das primeiras Histórias em Quadrinhos, podemos considerar a própria origem da escrita e dos primeiros desenhos. Se considerarmos dessa forma, uma volta no tempo aos primórdios de nossa civilização, no período paleolítico, poderemos encontrar desenhos que procuram contar histórias, o que poderíamos identificar como o início das Histórias em Quadrinhos. Dessa forma, as primeiras representações gráficas sequenciais ou não, que contavam histórias, foram feitas nesse período, onde o Homem gravava nas rochas acontecimentos de seu cotidiano.

O surgimento da linguagem simbólica, por exemplo, com os egípcios, aperfeiçoou esse gênero, com a criação de um código composto de desenhos e letras, os Hieróglifos. Com a expansão do Império Romano, esse conhecimento chegou ao ocidente.

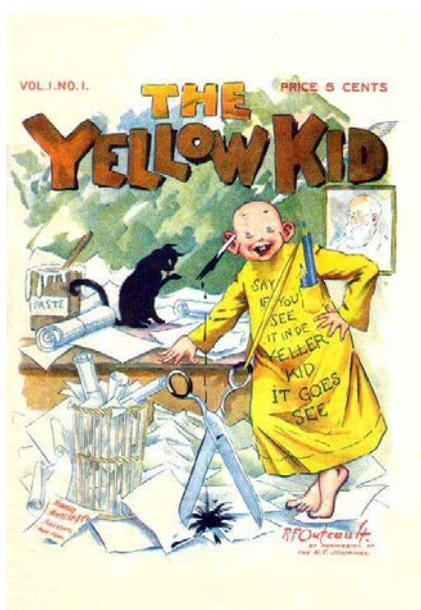
Outro exemplo, nesse sentido, é na Inglaterra medieval, onde uma tapeçaria de Bayeux possuía um relato desenhado ao longo dos seus 70 metros de comprimento, onde era contada a epopeia dos cavaleiros normandos durante as cruzadas religiosas (Testoni, 2004).

As primeiras Histórias em Quadrinhos propriamente dita surgem no século XIX, no continente europeu. Elas uniam a forma artística da tapeçaria de Bayeux, onde tínhamos uma história ilustrada contada de forma sequencial junto aos balões, que teve seus antecessores gravados em 1370, na tábua de Protat (TESTONI, 2004). Segundo Vergueiro “De uma certa forma, as histórias em quadrinhos podem ser vistas como as herdeiras diretas dos romances folhetinescos dos séculos 18 e 19 (...)” (VERGUEIRO, 2005, p.3)

A primeira História em Quadrinho a ser publicada, foi *The Yellow Kid* (figura 3), de Richard Felton Outcault, em 1895. *The Yellow Kid* contava a estória de uma criança com traços chineses, que sempre estava sorrindo e vestindo um pijama amarelo enquanto circulava por uma vila cheia de criaturas estranhas. Sua estreia oficial foi no jornal *New York World*, no dia 17 de fevereiro de 1895. Apesar desta ser considerada a primeira História em Quadrinhos publicada, outros pesquisadores discordam,

afirmando que já antes de Outcault, existiam outros quadrinistas, como o suíço Rodolphe Töpffer, que em 1833 havia publicado *A História do Senhor Jabot*.

É no início do século XX que surgem os primeiros Quadrinhos de ficção científica, tendo como precursor “*As aventuras de Buck Rogers no século XXV*” (figura 4) que foi uma adaptação feita por Dick Calkins a partir da obra original de Philip Francis Nowlan. A tira alcançou grande sucesso, sendo publicada em mais de 450 jornais em dezoito línguas diferentes (NASCIMENTO JUNIOR, 2013).



**Figura 3.** The Yellow Kid - Richard Felton Outcault, 1895.



**Figura 4.** Buck Rogers - Dick Calkins.

## 2.2 As Histórias em Quadrinhos nos livros didáticos

Os livros-texto utilizados nas aulas de Física, possuem diversas ilustrações e desenhos técnicos, que procuram representar um certo conceito fenômeno físico. Porém esses desenhos não caracterizam uma História em Quadrinhos, por não possuírem um enredo elaborado. Testoni levanta uma discussão interessante sobre sua presença em materiais didáticos como uma evolução editorial:

Ao analisar o material didático disponível no mercado atual, verifica-se que a grande maioria está buscando alternativas gráficas na abordagem de seus conteúdos – as arcaicas explicações teóricas são tomadas por ilustrações coloridas, humorísticas, modernas que tentam chamar a atenção do leitor, buscando uma forma diferenciada de tratamento do conteúdo. (TESTONI, 2004, p. 21)

Podemos citar como exemplo os materiais produzidos pelo Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF), no qual se utilizam de algumas tirinhas (um gênero de História em Quadrinho) nos livros-texto do aluno (figura 5).



Figura 5. Robô, Jim Meddick – (GREF, 1998, p. 16).

As Histórias em Quadrinhos podem ser categorizadas, de acordo com sua contextualização e o uso prévio para o qual ela foi feita pelo autor. Testoni (2004, p.24), classifica os Quadrinhos em quatro categorias no qual elas se encaixam no ensino segundo o caráter: Caráter Ilustrativo, Caráter Explicativo, Caráter Motivador ou Caráter Instigador.

### 1. Caráter Ilustrativo

Nesta categoria, temos Histórias em Quadrinhos com um forte aspecto ilustrativo, retratando algo já previamente estudado. O objetivo desse tipo de Quadrinho, é o de proporcionar a catarse, usando para isso elementos humorísticos para a descontração e críticas, que leve o aluno ao ato de pensar e refletir sobre o tema abordado.

Possui grande aplicação em livros didáticos mais tradicionais, onde o Quadrinho aparece na parte final de um capítulo, retratando o tema estudado. Não possui uma função pedagógica relevante.

### 2. Caráter Explicativo

Nesta categoria, a função explicativa busca por meio do enredo da História em Quadrinho, explicar um fenômeno físico. Esse tipo de material é pouco encontrado em

livros didáticos. Elas são mais usadas em campanhas publicitárias que buscam a conscientização sobre determinado assunto.

A elaboração desse tipo de Quadrinho exige muito trabalho por parte do autor e não condiz com o interesse das grandes editoras, que não veem a possibilidade de explicar física apenas com uma HQ.

Esse é um tipo de Quadrinho complexo na produção mas bastante rico em seu conteúdo e até mesmo como possibilidade didática, por exemplo, em atividades a serem desenvolvidas em sala de aula pelos alunos, apesar de necessitar de um desenvolvimento artístico por parte do aluno, o domínio do conteúdo e o conhecimento semiótico exigido na confecção de uma HQ.

### 3. Caráter Motivador

Nesta categoria, o Quadrinho é visto como um instrumento motivador para o aluno, por meio de seu enredo. O tema físico abordado na HQ sem uma explicação prévia do assunto, é capaz de instigar o aluno em pesquisar sobre o tema, para buscar compreender todo o aspecto cômico envolvido no enredo deste Quadrinho. Devido ao seu formato pedagógico, esse tipo de categoria costuma ser usado no início da aula como um elemento que busca uma maior motivação e um envolvimento do aluno.

### 4. Caráter Instigador<sup>4</sup>

Nesta categoria, a principal função do Quadrinho é instigar o aluno a pensar a respeito do assunto retratado no enredo da mesma. O processo de instigação ocorre durante o processo de leitura da HQ e após, no momento de discussão sobre o enredo dela. Esse tipo de Quadrinho é usado convencionalmente antes de se iniciar um novo conteúdo, também com o objetivo de instigar o aluno para a discussão teórica que virá a seguir.

É importante que o seu uso seja feito antes da discussão teórica e retomado após essa discussão, para termos diferentes perspectivas.

---

<sup>4</sup> Vale salientar que na opinião do autor desta monografia, as Histórias em Quadrinhos de caráter Motivador e Instigador proposto por Testoni (2004, p.24), podem possuir a mesma definição e significado.

### 2.3 Histórias em Quadrinhos como um Instrumento no Ensino de Física

Como discutido até o momento, as Histórias em Quadrinhos vem sendo um importante instrumento de comunicação e, em alguns casos transmissão de conhecimento, sendo capaz de informar, instruir e influenciar crianças, jovens e adultos ao longo dos anos. Neste sentido, ela se caracteriza então como um instrumento de educação informal.

Porém, é interessante ressaltar que a relação entre as Histórias em Quadrinhos e a Educação nem sempre fora amigável. Como é relatado por Santos e Vergueiro (2012), essa relação passou por grandes momentos de hostilidade e poucos de cumplicidade, até que alguns professores mais ousados decidiram usá-la dentro da sala de aula.

A partir dos anos de 1970, já era possível encontrar algumas narrativas em forma de Quadrinhos em livros didáticos brasileiros, elaborados por artistas consagrados, como Eugenio Colonnezze ou Rodolfo Zalla (SANTOS; VERGUEIRO, 2012).

Um marco importante para os Quadrinhos relacionados a Educação, é o ano de 1996. Nesse ano ocorreu a promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), que apontava para a necessidade de inserção de outras linguagens e manifestações artísticas nos Ensino Fundamental e Básico (SANTOS; VERGUEIRO, 2012), um espaço aberto inclusive aos Quadrinhos e as ilustrações.

Podemos analisar as Histórias em Quadrinhos de dois pontos de vista, o do leitor/estudante e do educador, como sugere Testoni (2005). Do ponto de vista do aluno, temos que a leitura de um Quadrinho:

- pode tornar-se muitas vezes uma atividade relaxante;
- pode ser uma atividade que estimula a imaginação.

Do ponto de vista do professor:

- é uma fonte familiar, que faz parte do cotidiano do aluno;
- a linguagem presente nos Quadrinhos é a mais acessível possível, sem os formalismos presente na maior parte dos textos didáticos de Física;
- pode ser um instrumento que trabalha com a capacidade de aumentar a capacidade abstrativa do aluno.

Os Quadrinhos são classificados com sistema narrativo formado por dois códigos: a imagem e a linguagem presente nos balões, sendo que estes se complementam. A imagem busca a representação de objetos físicos, seus

movimentos e sucessões. Já os elementos linguísticos, indicam aquilo que a imagem não mostra, acrescentando elementos temporais e espaciais. Os Quadrinhos então, devido a esses dois códigos, estabelecem em sua utilização uma série de ações cognitivas que podem ser exploradas no Ensino de Física na Educação Básica. A identificação e relação dinâmica do leitor estudante com o enredo proposto pelo Quadrinho torna-se uma das estratégias fundamentais deste instrumento, que pode ser utilizado se o ele for um desencadeador de um conflito cognitivo que seria o disparador de um processo de revisão de ideias (TESTONI e ABIB, 2005).

A História em Quadrinhos configura-se como um instrumento a ser utilizada nas aulas de Física, pode ser encarado como um material complementar às aulas de Física, que num panorama geral, mostram-se aulas baseadas no método predominantemente expositivo, onde o professor é responsável por cumprir uma grande gama de conteúdo, muitas vezes desarticulados em relação à ciência e em específico, à realidade dos alunos.

O uso de uma História em Quadrinhos neste ambiente, permite explorar o fator lúdico, que torna o material ainda mais atrativo. Sobre isso, Testoni e Abib afirmam que:

(...) a leitura de uma História em Quadrinho, em uma contextualização mais restrita, possui em sua confecção e aplicação a existência de duas características fundamentais que poderiam favorecer o alcance deste objetivo: a catarse e o desafio. (TESTONI; ABIB, 2005, p.3)

A seguir, são abordadas duas características fundamentais presente em uma História em Quadrinhos. São elas: a linguagem e a ludicidade.

## **2.4 A linguagem**

As Histórias em Quadrinhos, por se tratarem de um meio de comunicação em massa, tem como meta a transmissão de um conjunto de ideias e conceitos a serem defendidos pelo autor (TESTONI, 2004). Para que essa transmissão seja realizada com sucesso, de modo que o leitor compreenda a mensagem passada pelo autor, o fator linguístico é primordial.

Os Quadrinhos são um gênero linguístico, que é constituído por dois tipos de linguagem: a linguagem não verbal e a linguagem verbal. Segundo Cagnin apud Testoni:

(...) a História em Quadrinhos é classificada como um sistema narrativo formado por dois códigos gráficos: a imagem obtida pelo desenho e a linguagem escrita dos balões e descrições. Os dois sistemas envolvidos atuam em uma relação de complementaridade no contexto da HQ, sendo que o elemento linguístico escrito possui um amplo poder de representação no campo dos conceitos universais, enquanto que o elemento icônico busca a representação dos objetos físicos, seus movimentos e sucessões. (TESTONI, 2004, p.42)

O Texto permite estabelecer um elo entre os quadros, criando um contexto coerente. Em contra partida, a imagem estática e sem elementos verbais, por meio de seus códigos busca fornecer uma representação da vida e dos elementos materiais presentes dentro do ambiente da personagem.

A maneira de como lemos as Histórias em Quadrinhos também é influenciado por seu formato. Santos e Vergueiro (2012) relatam que as tiras de Quadrinhos humorísticos (popularmente chamadas de tirinhas), desenvolvem uma história curta em poucas vinhetas. Nesse formato de Quadrinhos, a comicidade se dá a partir de uma situação inicial que sofre uma grande reversibilidade, que não era esperada pelo leitor. Em contraposição as tirinhas, existem os Quadrinhos publicados em revistas, álbuns ou livros, sendo que estes possuem uma grande quantidade de páginas e uma narrativa mais complexa.

Ainda segundo Santos e Vergueiro:

A leitura de uma página de quadrinhos também é um exercício de percepção mais apurada – embora boa parte das histórias apresentam uma estrutura mais tradicional, em que um quadrinho segue o outro horizontalmente e de cima para baixo – há histórias que são diagramadas de maneira diferente, forçando o leitor a descobrir a sequência certa de imagens e textos. (SANTOS; VERGUEIRO, 2005, p.85)

Algo que é importante em uma História em Quadrinho é o equilíbrio entre os códigos, uma junção entre os signos linguísticos e icônicos, que são misturados. A partir do momento em que temos um dos códigos predominando sobre o outro, o elemento subordinado pode acabar sendo um mero complemento, às vezes redundantes. A grande eficácia na mensagem a ser transmitida por um Quadrinho, está na amplitude das intersecções desses códigos, compostos pelo texto e pela imagem.

A respeito da utilização de uma História em Quadrinhos no ambiente escolar, a escolha de um material se torna uma atividade de suma importância, de modo que

tenha uma divisão simétrica entre as imagens e os textos, torna a experiência educacional muito mais completa.

Testoni salienta a respeito da linguagem dos Quadrinhos e sua aplicação educacional que:

Em síntese, o uso efetivo de uma HQ como estratégia no processo de ensino/aprendizagem deveria prever a utilização das características linguísticas acima discutidas. Assim, a História em Quadrinho com aspectos educacionais deve possuir um equilíbrio entre a linguagem visual e a escrita, para que desta forma, através de uma dinamização e identificação do leitor com o enredo e as personagens, consiga uma maior eficácia na transmissão do tema abordado pela HQ. (TESTONI, 2004, p.43)

## 2.5 A ludicidade

Em muitas vezes, julgamos que o ato de brincar não implica em aprender. Porém, o ato de brincar é uma das formas mais significativas durante a infância, de modo que está integrado ao desenvolvimento dos potenciais intelectuais e físicos. Nem todo jogo gera aprendizado, mas através de um jogo, pode-se exercitar apenas uma estrutura já consolidada.

Ramos ressalta também que: “Por outro lado, nem todo aprendizado se resume ao brincar, pois existem outras formas, como por exemplo, a imitação e a transmissão (que não deixa de ser uma forma de imitação).” (RAMOS, 1990, p.37)

De diferentes formas o jogo pode ser valioso para o desenvolvimento cognitivo (RAMOS, 1990).

O termo lúdico, no senso comum, pode ser entendido como uma atividade não séria, infantil, como sendo uma atividade irrelevante no ponto de vista da aprendizagem.

A ludicidade como uma prática pedagógica, possui um papel mais relacionado com o despertar dos interesses autônomos dos alunos, ao manusear o jogo, fazendo assim com que ele esteja sujeito ao processo de aprendizagem.

Como Testoni salienta sua implicação como recurso didático mencionando que:

(...) a função do docente nesta etapa do processo é de fundamental importância, afinal, mesmo sendo necessário um despertar autônomo do interesse por parte do discente, é preciso que haja o “convite” por parte do docente, à discussão que envolva este interesse. Podemos considerar a autonomia do despertar do aluno por determinado interesse quando o aceite ao “convite” for voluntário, espontâneo. (TESTONI, 2004, p.37)

Os jogos trazem junto a si implicitamente um contrato lúdico. Neste contrato, temos implicitamente as regras que regem o jogo e a convivência social entre os jogadores. Sobre isso, Ramos nos afirma que:

Da mesma forma que estabelecem detalhes, tais regras contêm, também, um determinado conhecimento, que será obrigatório ao jogador dominar (para poder atuar!). As operações, que comporão sua estratégia, deverão considerar os mecanismos e as dificuldades do jogo. (RAMOS, 1990, p.106)

A História em Quadrinhos, possui características lúdicas semelhantes em grande parte aos jogos. Ela possui regras para leitura, a partir de seus sistemas linguísticos próprios.

Segundo Ramos apud Testoni:

(...) as Histórias em Quadrinhos estariam inseridas em uma categoria de jogos definidas como “jogos de aquisição”. Nesta espécie, a atividade lúdica caracteriza-se principalmente por basear-se essencialmente na observação e/ou na coleta de materiais. A totalidade dos jogos/brincadeiras que envolvam leituras enquadram-se nesta categoria lúdica. (TESTONI, 2004, p.34)

Ao lermos um Quadrinho, temos uma sensação semelhante a quando estamos jogando um jogo. Ao “brincarmos” de ler, não temos consciência de que está havendo um processo de aprendizagem. Esse prazer que sentimos, se dá por uma característica que ambos possuem, que é a catarse.

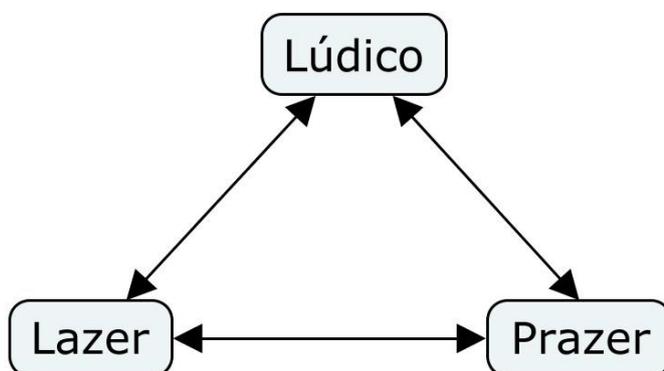
Segundo Ramos (1990), a catarse como objeto formador de atividade lúdica busca no jogador (ou em nosso caso, o leitor) uma performance livre das tensões cotidianas ou tradicionalmente impregnadas nos sistemas escolares, buscando desta forma, uma pronta associação entre a atividade desenvolvida e o material que leu ou brincou. Assim, o jogo (ou o Quadrinho) ficará armazenado no subconsciente, fazendo com que ocorra uma reorganização cognitiva quase que inconsciente por parte do discente.

Testoni resume nossa discussão a respeito da ludicidade como:

A HQ pode ser vista com um fator desencadeador do interesse do discente pelo conteúdo abordado, tornando-se desta forma um referencial de conhecimento. A evolução de um referencial para outro, ou seja, a ampliação de repertório de conhecimento do sujeito dar-se-ia através do desenvolvimento de novos modelos, o que ocorreria com a criação de sucessivos desafios que vão sendo proporcionados, segundo o interesse e a capacidade da cada pessoa. Não se deseja, com a interação lúdica, fantasiar o processo de aprendizagem, mas mostrar ao aluno que ele é capaz de pensar e alterar suas próprias concepções. (TESTONI, 2004, p.40)

É interessante colocar que, a própria linguagem das Histórias em Quadrinhos e seus códigos, constituem de elementos lúdicos a serem explorados pelo leitor, de modo que o leitor interage em todo momento com os desenhos, com os personagens, brincando com eles. Deste modo, não existe uma divisória entre as características linguísticas e lúdicas, mas sim um complemento delas por ambas as partes.

Podemos sintetizar por meio da figura 6, a relação cotidiano do lúdico, com o lazer e o prazer que uma História em Quadrinhos pode nos proporcionar.

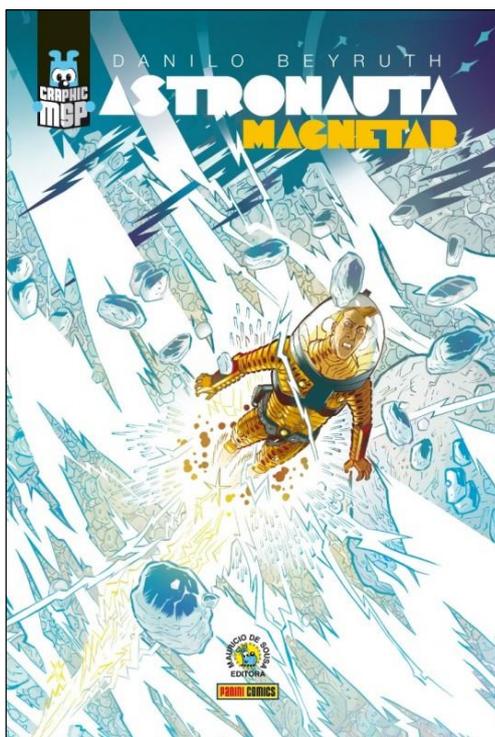


**Figura 6.** Relação tríade entre lúdico, lazer e prazer.

### 3 HQ E NOSSA PESQUISA

Nossa pesquisa caracterizou-se como qualitativa e exploratória com base em estudos de materiais bibliográficos, os quais poderíamos utilizarmos para o Ensino de Física.

O material escolhido foi *Astronauta Magnetar* (figura 7), cujo autoria é de Danilo Beyruth<sup>5</sup> e publicação da Editora Panini Brasil Ltda (BEYRUTH, 2014).



**Figura 7.** Reprodução da capa Astronauta Magnetar (BEYRUTH, 2014).

A escolha deste material se deu pelo fato dela ser muito rica em conceitos de Física, que poderiam ser explorados quando nós tratamos de Ensino de Física, isto é, em uma atividade escolar sua utilização implica na abertura e estudo de conceitos que ampliam as possibilidades curriculares no Ensino de Física na Educação Básica.

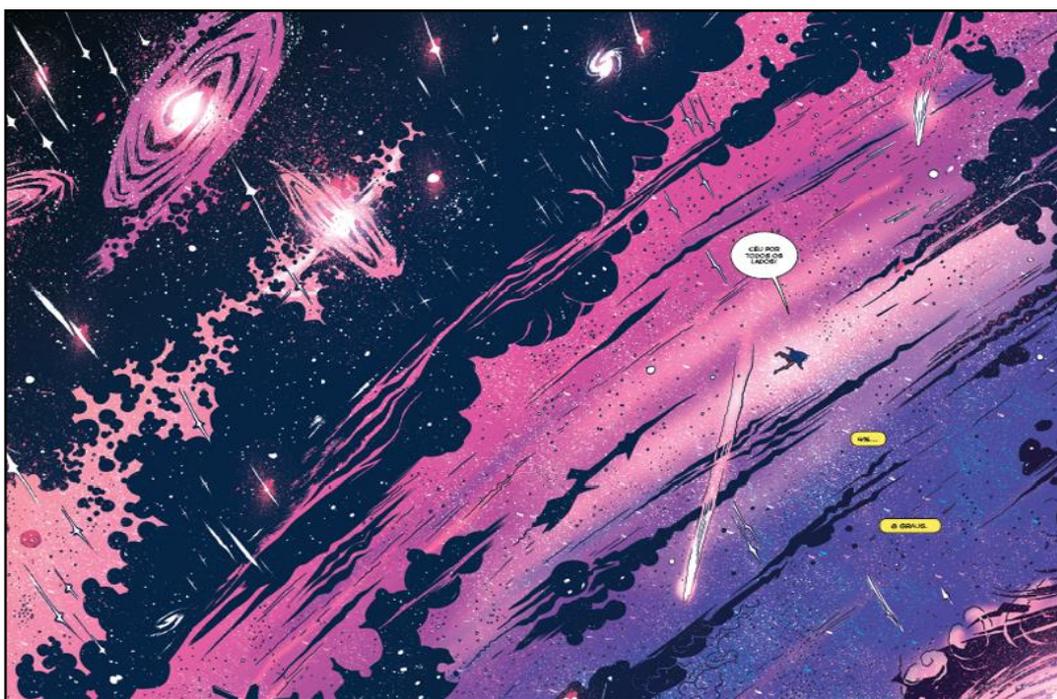
Outro fator fundamental para a escolha deste material, fora pelo motivo da obra apresentar alguns cuidados no uso de conceitos científicos. O autor do Quadrinho

---

<sup>5</sup> Danilo Beyruth é um dos mais importantes quadrinistas do cenário nacional. Começou a trabalhar com Quadrinhos em 2007, publicando de forma independente a revista *Necronauta*. O destaque foi tanto, que foi convidado pela editora norte-americana Image, para participar de uma antologia. Beyruth ganhou diversos prêmios HQ Mix (prêmio de Quadrinhos mais importante no Brasil) e foi convidado para fazer a primeira *Graphic MSP*, *Astronauta Magnetar*. Além de trabalhar como quadrinista, Beyruth foi diretor de arte e atualmente trabalha no mercado publicitário (BEYRUTH, 2014, p.82).

(Beyruth) relata que para ter precisão sobre os conceitos físicos, fez diversas pesquisas em astrofísica e consultou pesquisadores do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP). Ao final do Quadrinho, Beyruth inclusive inseriu um glossário de termos científicos, para auxiliar os leitores a compreenderem os termos físicos discutidos na obra.

Além dos aspectos científicos envolvidos na confecção deste Quadrinho, que nos chamaram a atenção, existem ainda três aspectos que culminaram na escolha desta obra. O primeiro deles é o fator plástico, já que a obra é muito chamativa por seus desenhos, como exemplo, uma representação do espaço feita pelo autor (figura 8). O segundo fator é a linguagem, que é de fácil compreensão, assim como as onomatopeias. Por último, e talvez o principal fator, seja o fato do personagem Astronauta já ser conhecido do público brasileiro, fazendo parte da infância de várias gerações.



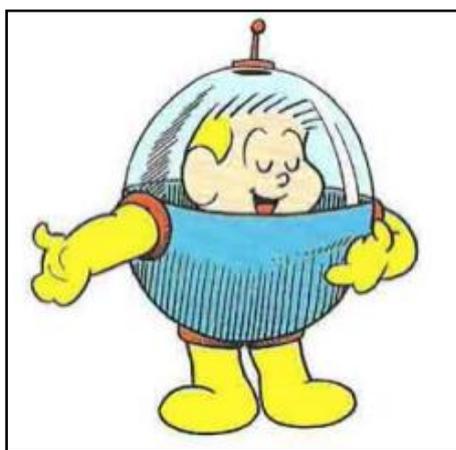
**Figura 8.** Representação do Astronauta perdido em meio ao espaço (BEYRUTH,2014, P.68 E 69).

### 3.1 Astronauta em Magnetar

A História em Quadrinho *Astronauta Magnetar* é uma narrativa de uma das viagens espaciais do personagem Astronauta em direção ao Magnetar, que é uma estrela de nêutrons com elevado campo magnético. Durante a missão, o personagem

passa por diversas dificuldades, culminando em uma situação dramática, a de passar 148 dias preso dentro de sua nave em meio ao espaço sideral. Durante esse período, reflexões são feitas por ele sobre sua vida, sua família e seu grande amor, que ele abandonara para viver o sonho da profissão.

O Astronauta (figura 9) é um personagem brasileiro criado em 1963, por Mauricio de Sousa, inicialmente em tiras para o jornal *Folha de São Paulo* em páginas dominicais coloridas (BEYRUTH, 2014). Seu criador, Mauricio de Sousa, é um dos maiores cartunistas brasileiros de todos os tempos, responsável pelo grande sucesso *Turma da Mônica*, da qual o Astronauta figura como um dos personagens. Devido as suas contribuições e a sua grande importância, Mauricio de Sousa em 2011 foi eleito membro da Academia Paulista de Letras (APL).



**Figura 9.** Personagem original de Mauricio de Sousa (BEYRUTH, 2014, P.80).

Na concepção de Sousa, o nome do personagem é Astronauta Pereira. Ele é membro da BRASA – Brasileiros Astronautas. A história de como ele vai parar nessa agência espacial foi contada em 1964 por Mauricio de Sousa. Pereira é indicado a esta agência espacial por um General, que era seu vizinho. Astronauta Pereira tinha uma vida tranquila e pacata antes disto, numa fazenda (BEYRUTH, 2014).

O Astronauta é um personagem explorador do espaço, junto a sua nave e seu único companheiro de viagem, o computador de bordo. O personagem Astronauta de Beyruth (figura 10), é uma releitura do personagem original, feita em homenagem aos 50 anos de carreira de Mauricio de Sousa, compondo as produções Graphic MSP (Mauricio de Sousa Produções). As Graphic Novel MSP possuem diversos títulos, cada uma delas escritas e desenhadas por diferentes artistas, que fizeram uma

recriação dos personagens originais. Elas possuem uma característica que diferenciam das demais histórias da *Turma da Mônica*, que é o público alvo. Enquanto as histórias originais são voltadas para um público infantil, as Graphic MSP possuem como público alvo jovens e adultos, que são em grande parte, antigos leitores dos Quadrinhos da *Turma da Mônica*.



Figura 10. Personagem de Beyruth (BEYRUTH, 2014)

### 3.2 O processo de decupagem do Quadrinho Magnetar

A História em Quadrinho Magnetar apresenta muitas discussões sobre conceitos físicos. Para trabalharmos com esse material, foi preciso em um primeiro momento identificar quais eram esses conceitos e quais grandes áreas da Física eles estavam vinculados. Para isso, utilizamos o processo de decupagem desta HQ.

A decupagem é uma técnica originalmente utilizada no cinema. Pereira e Prado a definem como:

A palavra decupagem é original do francês *découper*, ato de recortar. Apresenta a estrutura do que foi filmado/gravado. A decupagem tem uma escrita técnica que começa pelo plano, movimento de lente ou câmera, descrição da cena, descrição do áudio: off e sonoras. É o planejamento da filmagem, a divisão das cenas em planos e a previsão de como estes planos vão se ligar uns aos outros através de cortes. Ajudando o diretor a visualizar o filme antes de sua realização. (PEREIRA; PRADO, 2011, p.8)

O processo realizado por nós fora semelhante, de modo que analisamos a HQ quadro a quadro, levando em consideração os aspectos físicos verbais (texto) e os não verbais (imagens). Ao final do processo, produzimos um material, que pode ser consultado no Apêndice A.

Página	Descrição da Cena	Conteúdo Físico expresso de modo verbal	Conteúdo Físico expresso de modo não verbal
9	O avô do Astronauta o ensina como deve ser a forma da pedra e como se deve lança - lá para que ela chapinhe na superfície da água do lago.	O avô se utiliza da seguinte frase: "Ache uma pedra achatada e jogue bem rente a linha da água, se conseguir no ângulo certo, ela vai chapinhar sobre a superfície indo mais longe (...)". Percebe-se claramente na fala do avô, que o formato da pedra e o ângulo o qual ela é lançada influenciam em sua trajetória, de modo que o momento linear tende a se conservar. A Física abordada é a Mecânica.	Ao final da cena, o jovem personagem consegue lançar a pedra, de acordo com o que fora ensinado por seu avô. Nesta cena, temos claramente o princípio da conservação do momento linear, que permite que a pedra chapinhe na superfície da água, de acordo com o formato e com o ângulo de lançamento dela. A Física abordada é a Mecânica.
10	Temos o Astronauta dentro de sua nave indo em direção ao Magnetar.	Os aspectos abordados na fala do personagem são os seguintes: "(...) estrelas sucumbindo, planetas nascendo e galáxias se formando!". Outra fala interessante do personagem é que "(...) os acontecimentos atrelados ao Magnetar testam os limites das leis da Física.". A Física abordada é a Astrofísica.	Temos nessa cena uma primeira representação do Magnetar. Observamos também as centenas de asteroides que são atraídos pelo campo magnético dele. A Física abordada é a Astrofísica e o Eletromagnetismo.

**Figura 11.** Trecho da decupagem feita por nós.

### 3.3 Conceitos físicos explorados em Magnetar

Os resultados do processo de decupagem nos permitiram construir um mapa conceitual com todos os conceitos físicos abordados (figura 12), levando em consideração as grandes áreas da Física.

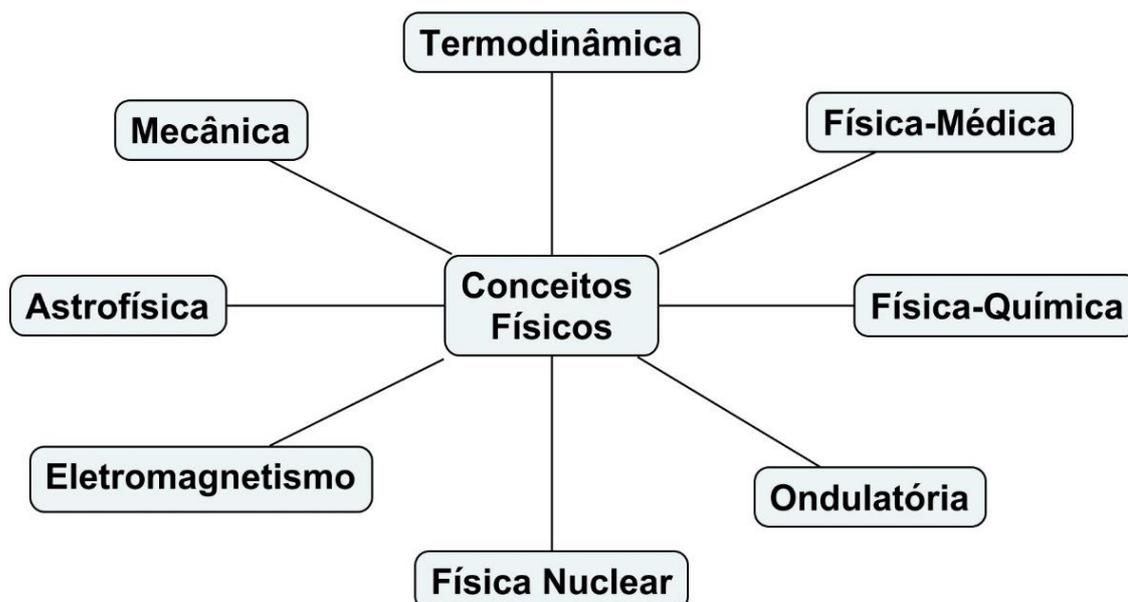


Figura 12. Mapa conceitual das grandes da área da Física abordados na HQ.

Como podemos observar, o *Quadrinho Astronauta Magnetar* é muito abrangente em conceitos físicos a serem discutidos. Nosso enfoque será em trabalhar com o Magnetar, explorando os conceitos físicos vinculados a ele. Tais conceitos podem ser vistos no mapa conceitual a seguir (figura 13).

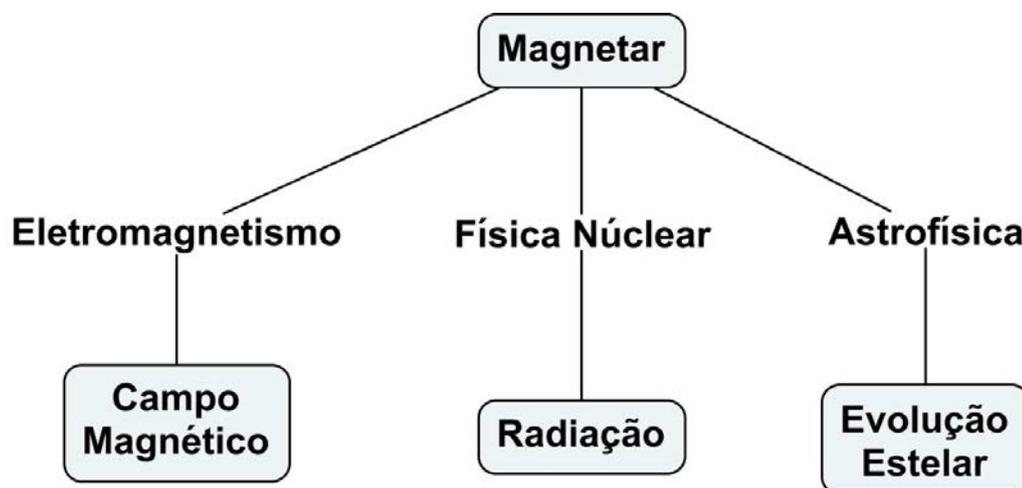
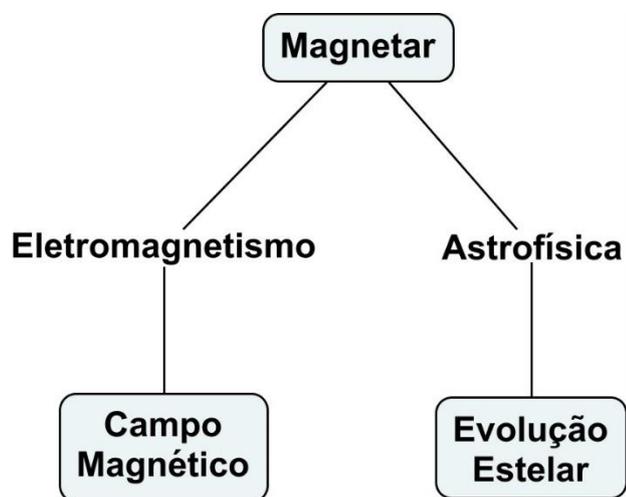


Figura 13. Mapa conceitual dos conceitos físicos vinculados ao Magnetar

### 3.4 Conceitos físicos a serem trabalhados

Como já fora discutido nas seções anteriores, a História em *Quadrinhos Astronauta Magnetar* nos oferece inúmeras possibilidades de conceitos físicos a serem abordados em uma atividade de Ensino de Física. Nosso enfoque será em

trabalhar com o Magnetar, e com dois temas vinculados a ele. Estes temas estão expressos no mapa conceitual abaixo (figura 14).



**Figura 14.** Conceitos físicos vinculados ao Magnetar que serão trabalhados

No próximo capítulo, faremos um estudo detalhado desses conceitos, explorando todas as suas características e aplicações.

## 4 TEORIA FÍSICA

Neste capítulo, iremos abordar os conceitos físicos presentes na História em Quadrinhos Astronauta Magnetar. Os temas abordados serão a Astrofísica e Eletromagnetismo.

### 4.1 Astrofísica

#### 4.1.1 O nascimento das estrelas

A maioria das estrelas da nossa Galáxia foram formadas há muito tempo. Apesar disso, muitas estrelas são ainda jovens e novas estrelas também estão se formando (CAPELATO, 2003). As novas estrelas nascem a partir de nuvens de gás e poeira, também chamadas de nuvens moleculares. Elas são extremamente massivas, de modo que 10% da massa de nossa galáxia está na forma dessas nuvens moleculares. São compostas por 80% de Hidrogênio, 18% de Hélio e 2% de elementos mais pesados.

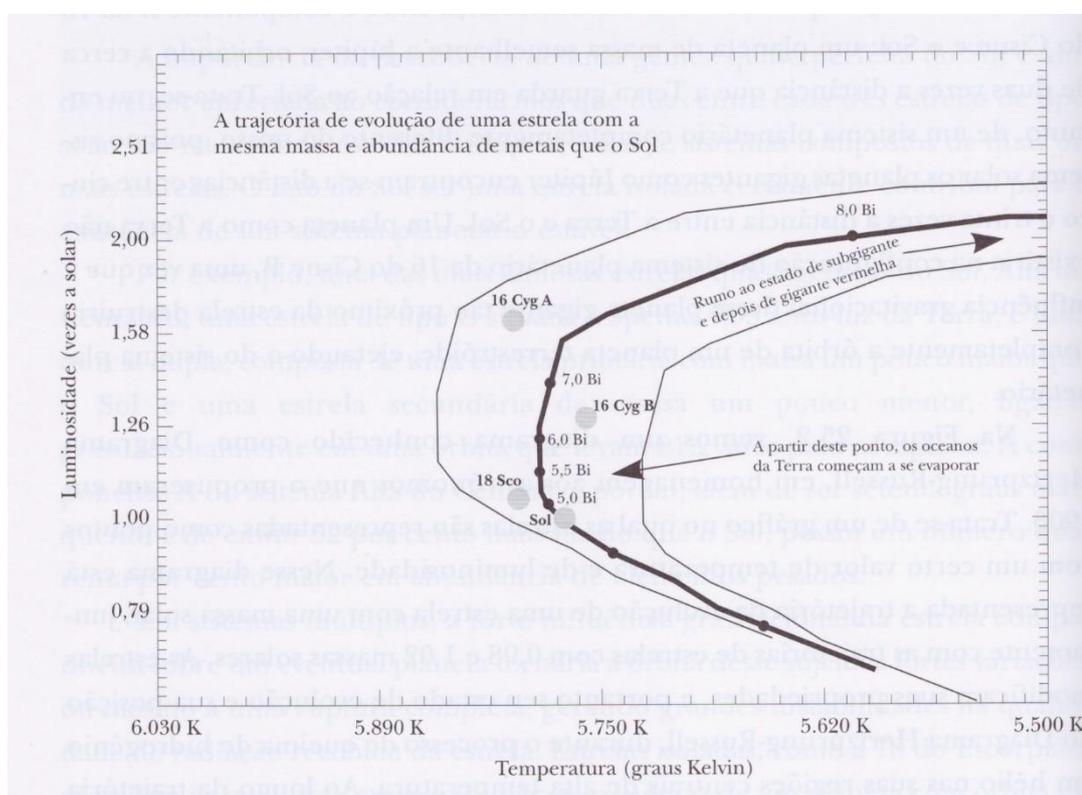
As nuvens moleculares geram as estrelas por meio de um processo conhecido como instabilidade gravitacional. Ele pode ser entendido como um processo inverso ao do equilíbrio hidrostático presente nas estrelas. Como Capelato nos explica:

Se, por alguma razão, o peso da camada superar a diferença de pressões, teremos o início de um movimento de contração que pode se transformar num colapso, isto é, todas as camadas se precipitam em direção a um centro ao mesmo tempo. Forma-se um coágulo de gás mais denso e quente no interior da nuvem: é a proto-estrela. À medida que a contração se desenvolve, a temperatura interna do coágulo aumenta até que, em algum momento, as condições de densidade e temperatura tornam-se favoráveis ao início da fusão do Hélio e a consequente produção de energia nuclear. Assim nascem as estrelas. (CAPELATO, 2003, p. 25)

Essas nuvens sofrem a ação de outros fatores internos e externos, capaz de comprimi-las localmente aumentando a densidade delas e assim provocando instabilidade gravitacionais. O principal fator externo são os braços espirais da Galáxia e o principal fator interno são explosões das estrelas jovens, na forma de Supernovas (CAPELATO, 2003).

#### 4.1.2 A sequência principal do diagrama HR

Um importante instrumento para discutir a evolução (a vida) das estrelas é o diagrama Hertzsprung – Russel (diagrama HR). Ele é um gráfico no qual as estrelas são representadas de acordo com sua temperatura e luminosidade. Tal gráfico propõe uma análise das estrelas, considerando que ao longo do tempo modificam suas propriedades, durante o processo de queima de Hidrogênio em Hélio nas suas regiões centrais de alta temperatura, podendo assim estudar a evolução estelar. A medida que as estrelas se tornam mais velhas e evoluem, sua posição no diagrama se modifica (MELLO, 2004)



**Figura 15.** Diagrama Hertzsprung - Russel para o sol, a 18 de escorpião e as duas estrelas do sistema duplo 16 do cisne (MELLO, 2004, p.262)

As estrelas durante a sequência principal do diagrama HR, produzem energia que é irradiada através de reações nucleares. Cerca de 80% da massa dessas estrelas estão na forma de Hidrogênio, que servem de combustível para a sequência principal.

O tempo de vida de uma estrela é calculado como sendo a razão entre a energia que essa estrela possui e a taxa de como ela gasta essa energia, na forma de

luminosidade. A luminosidade possui relação direta com a massa da estrela, da seguinte forma:

$$L \propto M^3$$

**Equação 1.** Relação entre luminosidade e massa de uma estrela.

Sendo assim, quanto mais massiva for a estrela, mas rapidamente ela consome sua energia na forma luminosa.

As estrelas que possuem maior massa, são luminosas e possuem uma temperatura superficial maior também, tendo uma coloração mais azul. As estrelas que possuem menor massa, são menos luminosas e com temperatura superficial menor, sendo que estas possuem uma coloração mais avermelhada (CAPELATO, 2003).

Durante a evolução na sequência principal, que é o período mais longo na vida de uma estrela, fusões termonucleares são geradas. Segundo Oliveira Filho e Saraiva (2014), “Em estrelas como o Sol, as reações mais importantes são as que produzem, como resultado líquido, a transformação de quatro núcleos de Hidrogênio (quatro prótons) em um núcleo de Hélio (partícula  $\alpha$ )”. Durante essa transformação, existe uma diferença entre a massa inicial da reação e a massa final da reação. Essa diferença de massa, se dá pelo fato de que parte dela é transformada em energia.

Em estrelas como o Sol, 0,7% da massa inicial da reação é transformada em energia, na forma luminosa. É importante considerarmos que apenas a massa contida no núcleo desta estrela participa da reação, já que apenas o núcleo consegue atingir as temperaturas necessárias para que ocorra as reações termonucleares. A massa do núcleo de uma estrela representa cerca de 10% da massa total da mesma.

#### 4.1.3 Evolução Final das Estrelas

O destino final de uma estrela, depois de esgotar todo seu combustível nuclear, depende dos seguintes aspectos: se essa estrela é simples ou faz parte de um sistema binário<sup>6</sup> ou múltiplo e de sua massa inicial. Se essa estrela for binária ou múltipla, sua

---

<sup>6</sup> São pares de estrelas em que ambas as estrelas estão à mesma distância da Terra e formam um sistema físico. Mais de 50% das estrelas no céu pertencem com dois ou mais membros. Elas podem ser de quatro tipos: binárias visuais (par de estrelas associadas gravitacionalmente com uma separação de dezenas a centenas de unidades), binárias astrométricas (um dos membros do sistema é fraco, mas detectada pelas ondulações no movimento da companheira mais brilhante), binárias espectroscópicas (sua natureza é conhecida pela variação de sua velocidade radial, por meio das linhas espectrais) e binárias eclipsantes (da forma que uma estrela eclipsa na outra) (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2014).

evolução depende tanto da massa quanto da separação entre as estrelas, que determinará quando as estrelas irão interagir entre si. Se essa estrela não faz parte de um sistema binário ou múltiplo, então dependerá apenas de sua massa inicial (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2014). A partir da massa inicial de uma estrela, podemos determinar seu destino. Segue no quadro 1 esses dados:

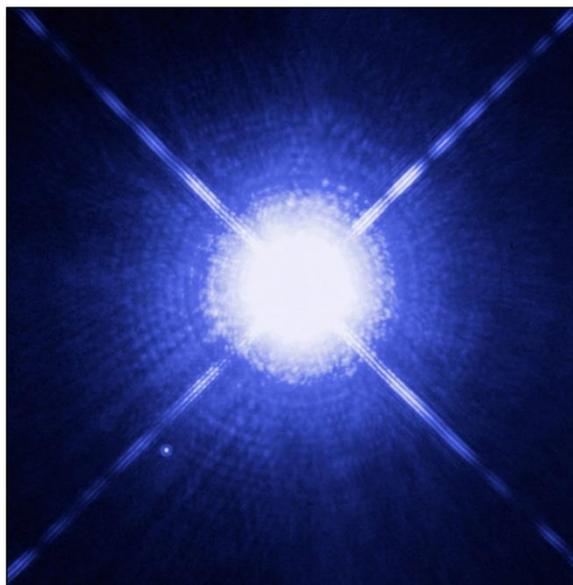
**Quadro 1.** Possíveis estágios finais de uma estrela (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2014, p. 263).

<b>Massa inicial</b>	<b>Estágio seguinte</b>	<b>Massa final</b>	<b>Raio final</b>
Menor do que 0,8 $M_{\text{Sol}}$ <sup>7</sup>	A idade do universo ainda não é suficiente para que essa estrela tenha evoluído além da sequência principal		
Entre 0,8 e 10 $M_{\text{Sol}}$	Após consumir todo hidrogênio passará pelas fases de gigante, supergigante e ejetará em uma nebulosa planetária, terminando como uma anã branca.	0,6 $M_{\text{Sol}}$	10.000 Quilômetros
Entre 10 e 25 $M_{\text{Sol}}$	Após a fase de supergigante, ejetará a maior parte de sua massa em uma supernova, terminando sua vida em uma estrela de nêutrons.	1,4 $M_{\text{Sol}}$	10 Quilômetros
Entre 25 e 100 $M_{\text{Sol}}$	Após a fase de supernova, restará um buraco negro.	6 $M_{\text{Sol}}$	18 Quilômetros de raio de horizonte <sup>8</sup>
Acima de 100 $M_{\text{Sol}}$	Ela ejetará a maior parte de sua massa ainda na sequência principal, por pressão da radiação e irá evoluir como uma estrela de até 100 $M_{\text{Sol}}$	6 $M_{\text{Sol}}$	18 Quilômetros de raio de horizonte

As estrelas que possuem até 10  $M_{\text{Sol}}$ , terminam sua vida na forma de uma anã branca, como a estrela Sirius B (figura 16). Durante sua fase de gigante vermelha, ela se contrai de modo a aumentar sua temperatura e densidade, ao ponto que seja suficiente para iniciar a queima do Hélio em Carbono. A queima do Hélio ocorre quando a temperatura central chega aos 100 milhões de Kelvin. Esse fenômeno é chamado de *flash do Hélio*. Quando o Hélio se esgota, a produção de energia nuclear termina e seu núcleo se contrai até forma uma anã branca. Ela é constituída nesse ponto então de uma nebulosa planetária ao seu redor e passa a esfriar lentamente (CAPELATO, 2003).

<sup>7</sup>  $M_{\text{Sol}}$  ou Massa Solar é uma unidade de medida astronômica, usado para representar a massa de estrelas. Uma unidade solar equivale a  $1,989 \times 10^{30}$  Kg, que é a massa do sol do nosso sistema solar.

<sup>8</sup> O raio do horizonte ou raio de Schwarzschild, é a distância ao buraco negro dentro da qual nem a luz escapa (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2014).



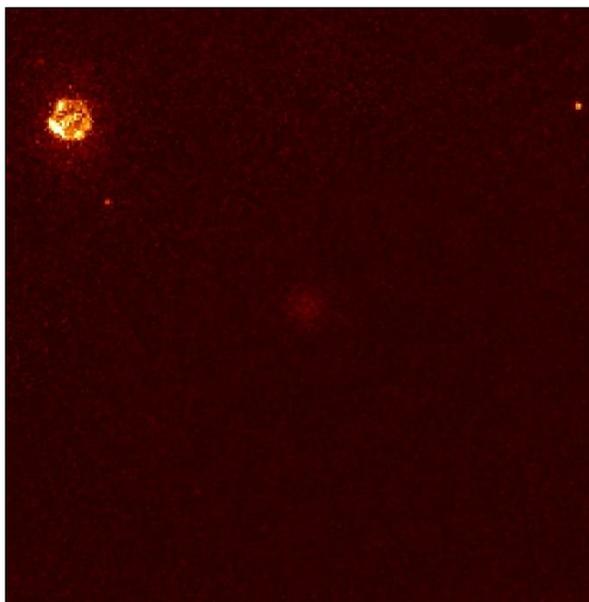
**Figura 16.** Estrela Sirius B localizada na constelação de Cão Maior (Crédito da Imagem: NASA, ESA, H. Bond (STScI) and M. Barstow (University of Leicester))

As estrelas que possuem massa maior do que  $10 M_{\text{Sol}}$ , passam por uma supernova e podem acabar sua vida na forma de uma estrela de nêutrons (figura 17) ou em um buraco negro, dependendo de sua massa. Quando seu reservatório de Hidrogênio termina, elas deixam a sequência principal e se tornam uma supergigante vermelha. A medida que o Hélio começa a queimar, transformando-se em Carbono e Oxigênio, o núcleo começa a se contrair (CAPELATO, 2003).

Como Capelato (2012) nos explica, “Passando o estágio de gigante vermelha, a estrela torna-se ainda mais luminosa, sofrendo agora de episódios de pulsação e de ejeção de gás a altas velocidades. Neste estágio, estas estrelas são por vezes denominadas *estrelas Wolf-Rayet*.”. O núcleo agora de Carbono e Oxigênio passa a buscar novas fontes de energia. Quando a estrela atinge temperaturas na casa 3 bilhões de Kelvin, o Carbono e o Oxigênio passam a queimar na forma de Neônio, Magnésio, Silício, Fósforo, Enxofre, e assim por diante, até o Níquel e o Ferro.

A estrela perde energia durante diversos estágios, chegando ao ponto em que a única energia restante é a energia gravitacional. Nesse estágio, a estrela tem de se contrair ao máximo, de modo que os neutrinos já conseguem escapar, transportando energia do núcleo. O núcleo em contração colapsa, provocando a fissão de todos os elementos pesados, que se desintegram em núcleos de Hélio. Esses núcleos de Hélio serão agora desintegrados na forma de prótons e nêutrons, de modo que toda energia irradiada durante a sequência principal é imediatamente devolvida, de modo que os

elétrons são espremidos contra os prótons transmutando-se em nêutrons. Esse processo é chamado de Supernova, e resulta na formação de uma estrela de nêutrons ou até mesmo em um buraco negro.



**Figura 17.** Imagem estrela de nêutrons XTE J1810-197 tirada em 1992 (Crédito da imagem: ROSAT/M. Roberts)

#### **4.1.4 Estrelas de Nêutrons**

Discutimos os possíveis finais de vida de uma estrela, onde sua massa inicial era fundamental para definir seu destino e fizemos um breve estudo do processo de formação das anãs brancas, estrelas de nêutrons e buracos negros. Neste capítulo, nos atentaremos em discutir as características físicas vinculadas às estrelas de nêutrons, por serem as estrelas do tipo Magnetar.

#### **4.1.5 Características Físicas das Estrelas de Nêutrons**

Uma estrela de nêutrons, depois de diversos estágios de formação, possui uma massa de 1,4 Massa Solar.

Possuem cerca de  $1,66 \times 10^{57}$  nêutrons que são mantidos juntos pela gravidade da estrela e suportada pela pressão degenerativa do nêutron.

Podemos estimar o raio de uma estrela de nêutrons a partir da equação abaixo, que é uma aproximação análoga a expressão usada para estimarmos o raio de uma anã branca (CARROL; OSTLIE, 1996).

$$R_{\text{en}} = \frac{(18\pi)^{2/3}}{10} \frac{h^2}{4\pi^2 G M_{\text{en}}^{1/3}} \left( \frac{1}{m_{\text{H}}} \right)^{8/3}$$

**Equação 2.** Estimativa do raio de uma estrela de nêutrons.

Onde:

G = Constante Gravitacional

$M_{\text{en}}$  = Massa da estrela de nêutrons

$m_{\text{H}}$  = Massa do Hidrogênio

h = Constante de Planck

Para os valores de:

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{Kg}^2$$

$$M_{\text{en}} = 1,4 M_{\text{Sol}} = 2,7846 \times 10^{30} \text{ Kg}$$

$$m_{\text{H}} = 1,6735 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$R_{\text{en}} = 4423 \text{ m}$$

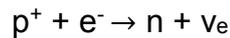
Esse valor calculado, é uma estimativa para o raio de uma estrela de nêutrons, porém estima-se que o valor real desse raio varia entre 10 e 15 Km. Especialistas sugerem adotar o valor de 10 Km, já que há muitas incertezas envolvidas no modelo de construção das estrelas de nêutrons (CARROL; OSTLIE, 1996).

Carrol e Ostlie (1996) nos apontam algumas características das estrelas de nêutrons. O remanescente estelar que é extremamente compacto, com uma densidade média de  $6,65 \times 10^{14} \text{ gcm}^{-3}$ , que é maior do que a densidade do núcleo atômico, cuja densidade é  $2,3 \times 10^{14} \text{ gcm}^{-3}$ . Seria como se colocássemos 5,5 bilhões de habitantes da Terra em um cubo de 1 cm de aresta. A aceleração gravitacional também é bastante intensa, cerca de  $1,86 \times 10^{14} \text{ cms}^{-2}$ , que é 190 bilhões de vezes mais intensa que a aceleração gravitacional da Terra. Como exemplo, se lançarmos um objeto à uma altura de um metro, ele tocará a superfície com velocidade de  $1,93 \times 10^8 \text{ cms}^{-1}$ .

Vamos agora analisar a configuração de equilíbrio dos  $10^{57}$  núcleos compostos por prótons e nêutrons juntamente com os elétrons livres, para fornecer uma carga total igual a zero. Esse arranjo se comporta de tal maneira de modo a envolver a menor energia possível. Carrol e Ostlie nos explicam que:

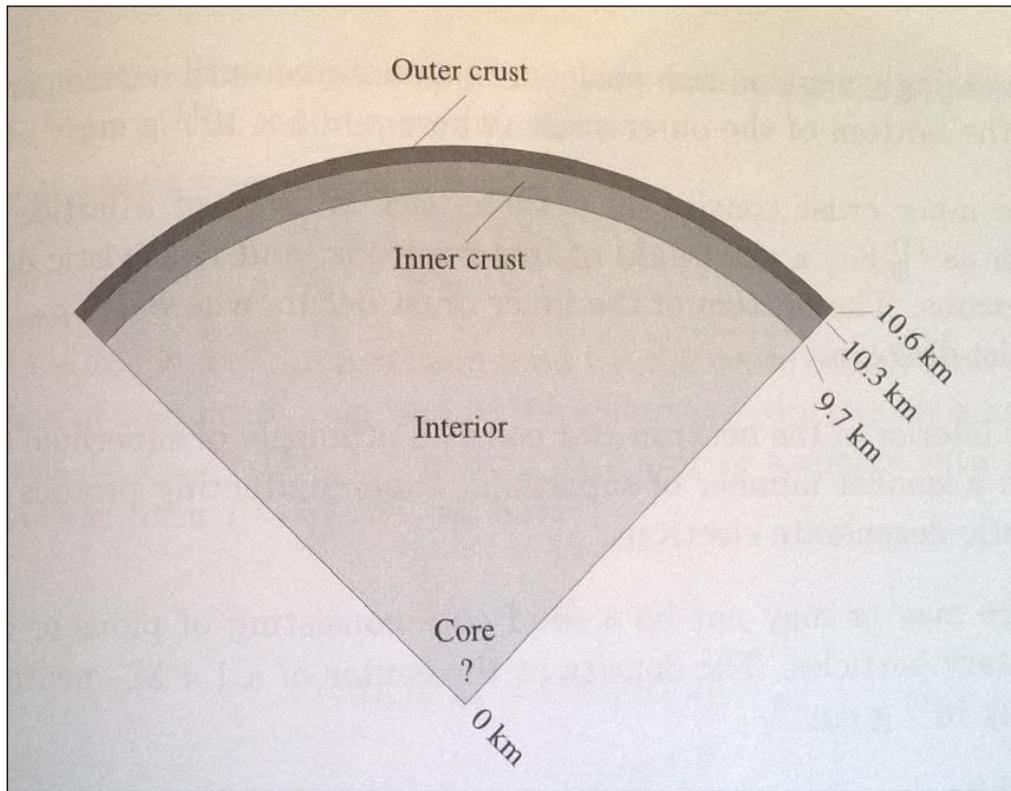
Para apreciar a natureza exótica do material que compreende uma estrela de nêutrons e as dificuldades envolvidas no cálculo das equações de estado, imaginamos a mistura comprimida de núcleos de ferro e elétrons degenerados no centro massivo de uma estrela supergigante (Por causa das propriedades mecânicas e térmicas da matéria degenerada e da independência delas, assumiremos por conveniência  $T=0K$ . O núcleo de ferro é disposto numa rede cristalina). (CARROL; OSTLIE, 1996, p.599)

As baixas densidades dos núcleos são encontradas nos núcleos de ferro, que é o resultado de compromisso de energia mínima entre a força de Coulomb repulsiva entre os prótons e a da força nuclear atrativa entre os núcleos. O arranjo de energia mínima de prótons e nêutrons muda porque os elétrons energéticos podem converter prótons do núcleo de ferro em nêutrons pelo seguinte processo de captura:



Por isso, a massa do nêutron é basicamente a soma das massas do próton com a do elétron ( $m_n c^2 - m_p c^2 - m_e c^2 = 0,78 \text{ MeV}$ ), de modo que o elétron deve fornecer energia cinética para compensar a diferença.

O primeiro modelo quantitativo de uma estrela nêutrons foi calculada por J. Robert Oppenheimer e G.M. Volkoff em Berkeley no ano de 1939. Na figura 18, temos um modelo calculado de uma estrela de nêutrons de  $1,4 M_{\text{Sol}}$ . Embora não tenhamos muitos detalhes, este modelo apresenta algumas características típicas.



**Figura 18.** Modelo de uma estrela de nêutrons de 1,4  $M_{\text{Sol}}$  (CARROL; OSTLIE, 1996, p.603)

Segundo Carrol e Ostlie (1996), as características típicas desse modelo (figura 18) são:

1. A crosta externa (Outer crust) consiste em núcleos pesados, sob a forma de um fluido ou uma estrutura sólida e elétrons relativísticos degenerados. Mais próximo à superfície, os núcleos são provavelmente de  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ . Sob profundidades e densidade maiores, núcleos cada vez mais ricos em nêutrons são encontrados, onde a densidade ( $\rho$ ) é da ordem de aproximadamente  $4 \times 10^{11} \text{ gcm}^{-3}$ .
2. A crosta interna (Inner crust) consiste de três partes misturadas de uma estrutura de núcleos tais como  ${}^{118}_{36}\text{Kr}$ , um superfluido de nêutrons livres e a degeneração relativística do elétron. A parte inferior da crosta ocorre onde a densidade da estrela de nêutrons é aproximadamente a densidade do núcleo, e o núcleo se dissolve.

3. O interior da estrela de nêutrons consiste principalmente de superfluido de nêutrons, com menor quantidade de superfluido, prótons supercondutores e elétrons relativísticos degenerados.
4. Pode ser ou não ser um núcleo sólido que consiste de píons ou outras partículas elementares. A densidade no centro de uma estrela de nêutrons de  $1,4 M_{\text{Sol}}$  é da ordem de  $10^{15} \text{ gcm}^{-3}$ .

As estrelas de nêutrons obedecem a seguinte relação entre massa e volume:

$$M_{\text{ns}} \times V_{\text{ns}} = \text{constante}$$

**Equação 3.** Relação entre massa e volume de uma Estrela de Nêutrons.

Quanto menor for seu volume então, maior será sua massa e por consequência sua densidade será maior. No entanto, essa relação pode falhar por mais massiva que seja a estrela, porque existe certo ponto no qual a pressão de degeneração do nêutron pode não suportar mais essa estrela. Consequentemente há uma massa máxima que essa estrela pode suportar, que é  $3 M_{\text{Sol}}$ .

#### 4.1.6 O movimento de rotação

As estrelas de nêutrons possuem uma propriedade que pode ser observada, seu intenso movimento de rotação em torno de seu eixo. Por exemplo, se uma anã branca composta por ferro rotacionar devagar, a diminuição de seu raio é tão grande que a conservação do momento angular garante a formação de uma estrela de nêutrons rotacionando rapidamente (CARROL; OSTLIE, 1996).

A partir do que fora discutido anteriormente, iremos agora demonstrar matematicamente o período de rotação de uma estrela de nêutrons, usando como instrumento de comparação uma estrela anã branca composta por ferro.

Adotaremos a seguinte aproximação:

$$\frac{R_{ab}}{R_{en}} \approx \frac{m_n}{m_e} \left( \frac{Z}{A} \right)^{5/3} = 512$$

onde:

$R_{ab}$  = Raio anã branca

$R_{en}$  = Raio estrela de nêutrons

$M_n$  = Massa do nêutron

$M_e$  = Massa do elétron

$Z$  = Número atômico do ferro

$A$  = Massa atômica do ferro

Adotaremos que as massas da estrela de nêutrons e a anã branca são iguais ( $M_{en} = M_{ab}$ ). Tratando cada estrela como uma esfera, temos o seguinte momento de inercia:

$$I = CMR^2$$

onde a constante  $C$  é determinada como a distribuição de massa no interior da estrela. Assumindo que a estrela seja uma esfera uniforme, temos  $M=5/2$ .

Analisaremos o caso onde uma anã branca (situação inicial) irá colapsar em uma estrela de nêutrons (situação final). Deste modo:

$$I_i \omega_i = I_f \omega_f$$

$$CM_i R_i^2 \omega_i = CM_f R_f^2 \omega_f$$

As massas das estrelas são iguais ( $M_{en} = M_{ab}$ ) e adotaremos que sua forma se mantém constante, deste modo:

$$\omega_f = \omega_i \left( \frac{R_f}{R_i} \right)^2$$

Em termos do período de rotação  $P$ , temos que:

$$P_f = P_i \left( \frac{R_f}{R_i} \right)^2$$

**Equação 4.** Período de rotação de uma anã branca após colapsar em uma estrela de nêutrons.

A relação  $\left( \frac{R_f}{R_i} \right)^2$  nos aponta que:

$$\left( \frac{R_{en}}{R_{ab}} \right)^2 = \left( \frac{1}{\left( \frac{R_{ab}}{R_{en}} \right)} \right)^2 = \left( \frac{1}{512} \right)^2$$

Logo, temos que:

$$P_{en} \approx 3,8 \times 10^{-6} P_{ab}$$

Sabemos que o período da anã branca 40 Eridani B é da ordem de 1350 segundos. Temos então que o período de uma estrela de nêutrons é:

$$P_{en} \approx 3,8 \times 10^{-6} \times 1350 \text{ s}$$

$$P_{en} \approx 5 \times 10^{-3} \text{ s}$$

As estrelas de nêutrons rotacionam tão rapidamente, que seu período de rotação é da ordem de 5 milissegundos (a cada 5 milissegundos ela realiza uma volta completa em torno de seu eixo).

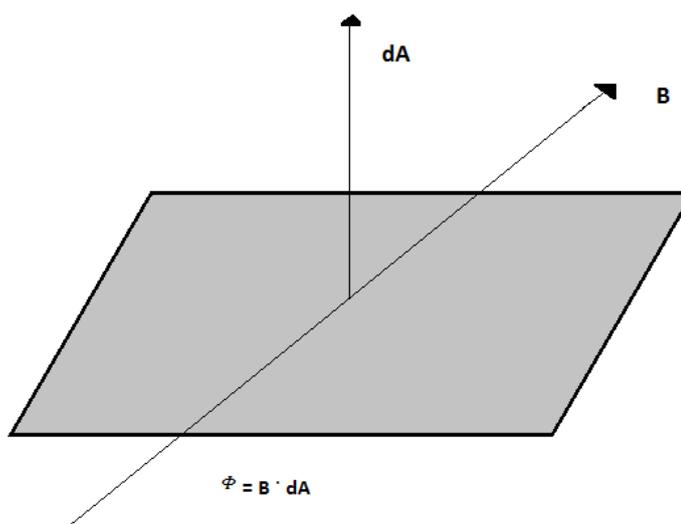
#### 4.1.7 O campo magnético

As estrelas de nêutrons apresentam outra propriedade interessante, que é a presença de um intenso campo magnético. Carrol e Ostlie (1996) nos explicam que “o congelamento das linhas do campo magnético em um fluido ou um gás condutor implica na conservação do fluxo magnético através da superfície de uma anã branca quando ela colapsar em uma estrela de nêutrons.”.

O fluxo do campo magnético através de uma superfície  $S$  é definido pela seguinte integral de superfície:

$$\Phi \equiv \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

onde  $\mathbf{B}$  é o vetor campo magnético (figura 19).



**Figura 19.** Representação fluxo magnético em uma superfície  $dA$  (CARROL; OSTLIE, 1996, p. 606).

Se nós aproximarmos os termos, de modo a ignorarmos a geometria do campo magnético, o produto da força do campo magnético pela a área da superfície de uma estrela se manterá constante do seguinte modo:

$$Bi4\pi Ri^2 = Bf4\pi Rf^2$$

Não está totalmente claro para nós qual o valor que deveríamos adotar como sendo o campo magnético inicial de uma anã branca de núcleo de ferro. Adotaremos então um maior valor de campo magnético que uma anã branca poderia ter, da ordem de  $5 \times 10^8$  Gauss, que é um valor alto comparado com os campos magnéticos das anãs brancas, que costumam ser da ordem de  $10^5$  Gauss. Quando comparamos ao valor do campo magnético da Terra, as diferenças são mais exorbitantes ainda, já que o valor médio do campo dela é de 0,5 Gauss.

Podemos determinar o campo magnético de uma estrela de nêutrons que se formou após uma anã branca de núcleo de ferro entrou em colapso, da seguinte maneira:

$$Ben \approx Bab. \left( \frac{Rab}{Ren} \right)^2$$

**Equação 5.** Campo magnético de uma estrela de nêutrons aproximado

Da relação acima, temos que:

$$\frac{Rab}{Ren} = 512$$

Logo

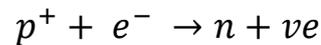
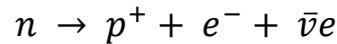
$$Ben \approx 1,3 \times 10^{14} \text{ Gauss}$$

Esse valor obtido, é uma estimativa particular, sendo vista com um limite e não um valor típico do campo magnético das estrelas de nêutrons.

#### 4.1.8 Temperatura das Estrelas de Nêutrons

A última propriedade que iremos abordar é referente a sua temperatura. As estrelas de nêutrons são extremamente quentes, com temperaturas da ordem de  $10^{11}$

Kelvin. Durante o primeiro dia após sua formação, a estrela passa a esfriar devido a emissão de neutrinos, via processo URCA<sup>9</sup>:



Carrol e Ostlie nos explicam que:

Como os núcleos variam entre estar forma de nêutrons e prótons, uma grande quantidade de neutrinos e antineutrinos são produzidos e dispersos sem obstáculos no espaço, carregando toda energia e assim congelando a estrela de nêutrons. Esse processo pode continuar apenas enquanto o núcleo não está degenerado e é suprimido após os nêutrons e prótons se instalarem no mais baixo e inocupado estado de energia. Essa degeneração ocorre cerca de um dia após a formação da estrela de nêutrons, quando sua temperatura interna cai para cerca de  $10^9$  Kelvin. (CARROL. OSTLIE, 1996, p. 607)

Outros processos de emissão de neutrinos irão favorecer o congelamento da estrela de nêutrons pelos próximos dez mil anos, de modo que o congelamento irá parar, e sua superfície terá em uma temperatura de  $10^6$  Kelvin. Com esse dado, podemos determinar a radiação de corpo negro para uma estrela de nêutrons de  $1,4 M_{\text{Sol}}$  por meio da Lei de Stefan-Boltzmann:

$$RT = \int_0^{\infty} RT(\nu) d\nu$$

Que podemos escrever na forma empírica como sendo para a estrela de nêutrons:

$$RT = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

**Equação 6.** Radiação de corpo neutro para uma estrela de nêutrons

Onde  $4\pi R^2$  é o elemento de área.

Temos que:

$$R = 10^4 \text{ m}$$

$$T = 10^6 \text{ K}$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 - \text{K}^4$$

Portanto:

$$RT = 7,13 \times 10^{25} \text{ W}$$

---

<sup>9</sup> O processo URCA que remove eficientemente a energia de uma estrela de nêutrons superquente. O nome é em homenagem ao cassino URCA que ficava no Rio de Janeiro, e segundo a lenda era eficiente em remover o dinheiro dos físicos azarados (CARROL; OSTLIE, 1996).

#### 4.1.9 A descoberta do Magnetar

O Magnetar é um tipo de Estrela de Nêutrons, que apresenta como característica Física peculiar, possui um campo magnético muito elevado e ser também fonte dos chamados repetidores de raio gama. Em inglês, são denominados de *Soft Gamma Repeater* (SGR).

As estrelas de nêutrons foram propostas pelo astrônomo alemão Walter Baade e pelo astrofísico suíço Fritz Zwicky, em 1934, no observatório de *Mount Wilson*, dois anos após o nêutron ser descoberto por James Chadwick. Eles propuseram o termo “supernova”, sugerindo que a supernova representava a transição ordinária de uma estrela em uma estrela de nêutrons, sendo esse o estágio final de vida de uma estrela (CARROL; OSTLIE, 1996).

O primeiro indício da existência dos Magnetares ocorreu no dia 05 de Março de 1979, num evento denominado de “*1979 gamma-ray burst event*” (evento de explosão de raio gama de 1979). Neste dia, houve uma emissão de raios gamas tão intensos, que os detectores dos satélites estouraram suas escalas. Dr. Thomas Cline da “*NASA's Goddard Space Flight Center in Greenbelt*” foi o responsável pela equipe que investigou o fenômeno ocorrido.

Segundo Fishman, membro da *NASA's Marshall Space Flight Center*, “foi um evento histórico”, que causou um grande estímulo nesse campo de pesquisas (NEWMAN, 1998). Esse evento foi tão marcante para a história da Astrofísica devido a sua dimensão, jamais vista novamente.

O mistério chegou ao seu fim em 1992, quando o Dr. Robert Duncan da *University of Texas* e Dr. Chris Thompson da *University of North Carolina* formularam a teoria sobre o Magnetar.

Em 1996, o satélite Americano *Rossi X-ray Timing Explorer* (RXTE) tinha observado dados do Magnetar SGR 1806-20. Esses dados observados foram estudados pela Astrofísica Chryssa Kouveliotou e seus assistentes. Eles descobriram que existia um período de emissão de raio-x pela estrela. Com isso, ela conseguiu determinar a presença de um intenso campo magnético na estrela (NEWMAN, 1998).

A confirmação dos resultados obtidos por Kouveliotou ocorreu em 1998, de modo que foram publicados na revista *Nature* em 21 de Maio de 1998, estabelecendo em definitivo a existências dos Magnetares.

## 4.2 Eletromagnetismo

### 4.2.1 Definição de Campo Magnético (B)

A definição de campo elétrico  $\mathbf{E}$  é determinado colocando-se uma carga teste  $q$  em repouso e medindo a força elétrica que está atuando sobre ela. A partir disto podemos definir que:

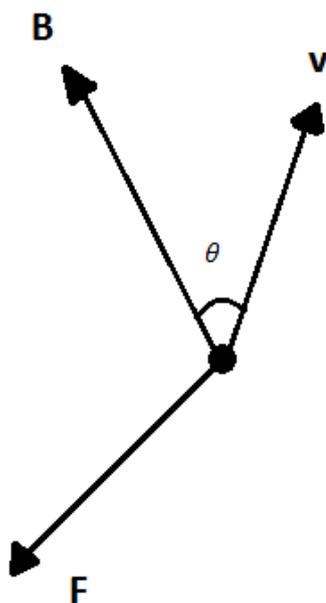
$$F_e = qE$$

Se tivéssemos um monopólio magnético poderíamos definir o campo magnético  $\mathbf{B}$  da mesma maneira. Como essas partículas não são encontradas na natureza, temos de definir o campo magnético a partir de cargas em movimento.

Nussenzveig (1997) nos define que “Verifica-se experimentalmente que a força é proporcional a carga e à magnitude da velocidade da partícula. Entretanto, a direção da força é perpendicular às direções da velocidade  $v$  e do campo magnético.” Logo, definimos a força magnética como:

$$F = kq v \times b$$

Onde  $k$  é uma constante positiva que depende da escolha do sistema de unidades e  $v$  é a velocidade da partícula de carga  $q$  em relação a um referencial inercial (figura 20).



**Figura 20.** Representação força magnética sobre carga (Nussenzveig, 1997, p.128).

Logo, tomando:

$$F \propto \sin \theta$$

onde  $\theta$  é o ângulo entre  $B$  e  $v$  e tomando  $K=1$  no sistema MKSA, definimos:

$$F = q v \times B$$

**Equação 7.** Força magnética.

Utilizamos como unidade de campo magnético no Sistema Internacional como sendo o Tesla. Porém, habitualmente nós utilizamos da grandeza  $G$  (Gauss) para medirmos campo magnético, de modo que:

$$1 G = 10^{-4} T$$

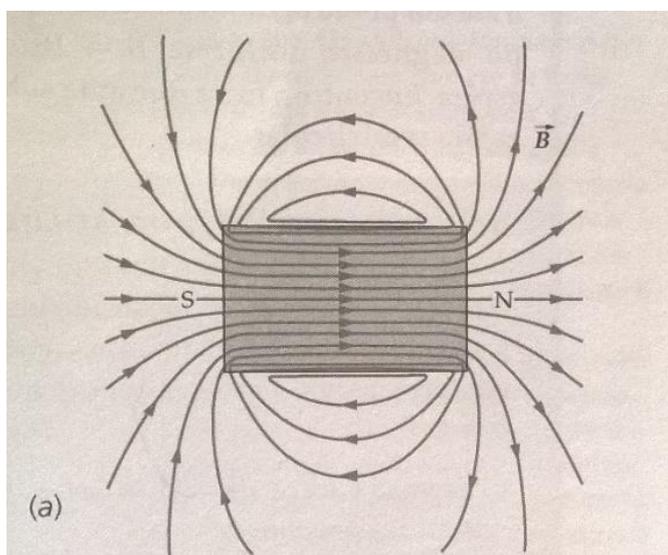
A partir da dedução da equação para o campo magnético, alguns resultados são observados por Halliday et al (1996):

1. *A força magnética  $F$  sempre atua perpendicularmente ao vetor velocidade. Isso significa que um campo magnético constante e uniforme não pode nem aumentar nem diminuir a velocidade escalar da partícula em movimento, mas pode somente desviar sua trajetória; isto é, a força só pode variar a direção da velocidade  $v$  da partícula mas não pode variar o módulo de  $v$ . Como o módulo de  $v$  não varia, a força magnética não varia a energia cinética da partícula.*
2. *Um campo magnético não exerce nenhuma força sobre uma carga que se move paralelamente (ou antiparalelamente) ao campo. Quando  $v$  é paralelo ou antiparalelo a  $B$ , o que corresponde a  $\theta = 0$  ou  $180^\circ$ , a força magnética é nula.*
3. *O valor máximo da força magnética ocorre quando a carga de teste está se movendo perpendicularmente ao campo magnético, isto é,  $\theta = 90^\circ$ .*
4. *O módulo da força magnética é diretamente proporcional a  $q$  e a  $v$ . Quanto maior for a carga da partícula e quanto mais rápido ela estiver se movendo, maior será a força magnética. E ainda, se a partícula estiver em repouso ou for eletricamente neutra, não haverá força magnética atuando sobre ela.*
5. *O sentido da força magnética depende do sinal de  $q$ , uma carga de teste positiva e uma outra negativa, com velocidades de mesma direção, sentido e módulo são defletidas em sentidos opostos.*

#### 4.2.2 Linhas de campo magnético

Uma forma de representarmos o campo magnético, é por meio das linhas de campo magnético. Para isso, basta seguirmos duas regras:

1. Em qualquer ponto do campo, a direção tangente a uma linha de campo, representa a direção  $\mathbf{B}$  naquele ponto.
2. O espaço entre as linhas de campo, nos fornece o módulo de  $\mathbf{B}$ . Logo, onde as linhas de campo estão mais próximas, o campo magnético é mais forte, e o inverso disso também é válido.
3. As linhas de campo são curvas fechadas, que emergem do polo norte magnético em sentido ao polo sul magnético (figura 21)



**Figura 21.** Linhas de campo magnético internas e externas em uma barra de ímã (TIPLER; MOSCA, 2006, 1996).

#### 4.2.3 O campo magnético da Terra

Considera-se que os primeiros, por volta de 1100 d.C, indicam que os chineses já conheciam o campo magnético da Terra, sendo atribuído à eles a invenção da bússola. Porém, os primeiros estudos a respeito do campo geomagnético foram realizados em 1269, por Petrus Peregrinus de Maricourt. Ele esculpiu um pedaço de magnetita numa forma esférica, que atrai pequenos. A partir disto, ele desenhou linhas que circundavam essa esfera e se interceptavam em dois pontos, nos polos. Willian Gilbert, em 1600, repetiu e ampliou todas as experiências anteriores sobre

magnetismo, reunindo-os no tratado De Magnete, onde ele reconheceu que a Terra se comportava como um imenso ímã (ERNESTO; MARQUES, 2003).

William Gilbert propôs com seus experimentos, que a Terra era semelhante a esfera de magnetita de Maricourt. Com isso, Gilbert concluiu de que a Terra é uma esfera uniformemente magnetizada. A forma do campo geomagnético se assemelha ao campo magnético de um ímã em forma de barra, sendo assim, a Terra possui um dipolo geocêntrico próximo ao eixo de rotação da Terra.

Carl Friedrich Gauss, em 1838 começou a fazer medidas sistemáticas da intensidade do campo geomagnético, e por meio de análise matemática concluiu que 95% do campo é originado no interior da Terra. O campo geomagnético porém, não é um dipolo perfeito, já que cerca de 5% desse campo é irregular (não-dipolar), por isso, os valores do campo magnético divergem para diferentes pontos do planeta. Os valores do campo geomagnético médio e nos polos são os seguintes (quadro 2).

**Quadro 2.** Valores para o campo geomagnético (ERNESTO; MARQUES, 2003).

Valor médio (G)	Polo Norte (G)	Polo Sul (G)
0,5	0,6	0,7

Ernesto e Marques discutem como o campo geomagnético é gerado, já que os minerais na superfície terrestre não interferem na geração do campo, que se concentra no interior. Supõe-se que o núcleo terrestre é composto por fluidos metálicos, e que esses podem ser capaz de gerar correntes elétricas, que por sua vez induzem campo magnético. Não é possível investigar diretamente e reproduzir essas condições em laboratórios é muito difícil; porém, a combinação de resultados teóricos e experimentais permitiram elaborar o seguinte modelo, relatado por Ernesto e Marques:

(...) a única teoria viável de geração de campo magnético terrestre é aquela que trata o núcleo como uma espécie de dínamo autossustentável. Este modelo foi desenvolvido por volta de 1950 por Bullard e Elsasser. (...) O dínamo da terra é autossustentável porque, depois de haver sido disparado por um campo magnético que poderia ser sido muito fraco (como por exemplo o próprio campo do sistema solar), continuou produzindo seu próprio campo sem suprimento de campo externo. O líquido metálico do núcleo terrestre, movendo se de maneira apropriada, agiria como um dínamo, necessitando apenas de um suprimento contínuo de energia para manter o material em movimento. (ERNESTO; MARQUES, 2003, p.78)

Apesar do campo magnético terrestre ser fraco, ele ocupa um volume grande, de cerca de 10 a 13 raios terrestres. Esse campo, chamado de magnetosfera, se assemelha a um formato de gota com cauda. A importância desse campo se dá pelo fato dele blindar a Terra de partículas solares, advindas dos ventos solares.

#### 4.2.4 Lei de Gauss para o Magnetismo e o Fluxo Magnético

As linhas de campo magnético ( $\vec{B}$ ), já estudadas por nós anteriormente, diferem das linhas de campo elétrico ( $\vec{E}$ ). As linhas do  $\vec{B}$  formam curvas fechadas, enquanto as linhas  $\vec{E}$  iniciam e terminam sobre cargas elétricas.

A Lei de Gauss para o Magnetismo é uma das equações básicas do Eletromagnetismo. Ela é uma maneira formal de enunciar uma conclusão à qual somos levados por fatos do Magnetismo a conhecer, que polos isolados não existem. Logo, afirmamos que o fluxo magnético  $\Phi_B$  através de qualquer superfície gaussiana fechada deve ser zero:

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

**Equação 8.** Fluxo magnético que atravessa uma superfície gaussiana fechada.

para qualquer superfície fechada. Se  $V$  é o volume contido dentro de  $A$ , isto implica pelo teorema da divergência que,

$$\int_V \text{div} \vec{B} dv = 0$$

o que só é possível, sendo  $V$  qualquer, se

$$\text{div} \vec{B} = 0$$

Essa é uma das equações de Maxwell, representando uma propriedade fundamental do campo  $\vec{B}$ . Dela decorre que as linhas de força magnéticas são sempre fechadas ou tem de se iniciar e terminar no infinito.

A unidade de fluxo magnético é o Weber (Wb), de modo que:

$$1 T = 1 \frac{Wb}{m^2}$$

#### 4.2.5 Lei da Indução de Faraday

O uso em larga escala de energia elétrica, que revolucionou toda a sociedade industrial, tornou-se possível graças à descoberta, por Faraday, do fenômeno da indução eletromagnética. (NUSSENZVEIG, 1997, p.161)

Michael Faraday (1791-1867), um dos maiores físicos experimentais de todos os tempos, foi um jovem prodígio. Apesar da pouca escolaridade (apenas o primário), era muito inteligente. Aos 12 anos, trabalhava como encadernador, onde teve contatos com muitas obras literárias. Aos 19 anos, após assistir uma série de conferências de Sir Humphry Davy, e fazer notas sobre suas palestras, foi convidado a trabalhar como assistente de laboratório. Por volta de 1832, Faraday começou a publicar suas pesquisas a respeito de eletricidade.

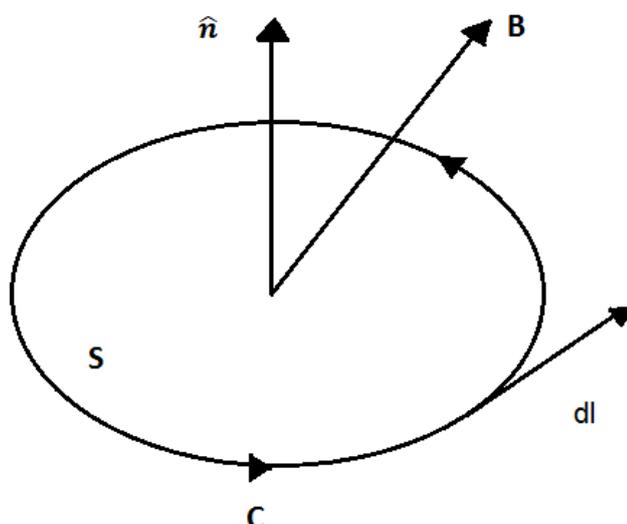
Duas experiências realizadas por Faraday o ajudaram a compreender o que seria mais tarde a Lei de Indução de Faraday.

A primeira, realizada em agosto de 1831, consistia de um bloco de madeira com 70 metros de fio enrolado (bobina) junto com um galvanômetro e um outro bloco semelhante isolado, ambos ligados em uma bateria. Faraday ficou decepcionado com os resultados iniciais, pois uma corrente estacionária no segundo circuito não afetava o galvanômetro, porém, ele notou algo interessante. Aparecia uma deflexão no galvanômetro quando o outro circuito era ligado ou desligado. Deste modo, a corrente era induzida pela variação de campo magnético.

No segundo experimento, Faraday aproximou um ímã permanente cilíndrico de um solenoide ligado a um galvanômetro. Quando a barra era introduzida no solenoide, o galvanômetro acusa a passagem de corrente, e quando removido, gerava uma corrente em sentido contrário. Ela percebeu que a indução de uma corrente dependia apenas do movimento relativo entre o ímã e a bobina, resultando numa variação de campo magnético que atravessava a bobina.

Faraday, observando as duas experiências descritas acima, expressou a seguinte informação, como nos relata Halliday et al (1996): “Uma fem (força eletromotriz) é induzida na bobina somente quando o número de linhas de campo magnético que a atravessam estiver variando.”

Para definir a Lei da Indução de Faraday, consideremos uma espira **C** de fio, imersa num campo magnético **B** (figura 22).



**Figura 22.** Espira num campo B (NUSSENZVEIG, 1997, p. 162)

O fluxo de **B** através da espira é:

$$\Phi_C = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = \int_S \mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{n}} dS$$

onde **S** é qualquer superfície de contorno **C**, orientada em  $\hat{\mathbf{n}}$ . O fato de que  $\Phi$  só depende de **C**, e não da escolha **S**.

Seja **R** a resistência da espira **C**. A lei de Faraday pode ser enunciada em termos da corrente **i** induzida em **C** quando  $\Phi_C$  varia com o tempo, de modo que:

$$i = -\frac{1}{R} \frac{d\Phi_C}{dt}$$

A existência dessa corrente na espira está associada a uma fem  $\varepsilon$ , que é dada por:

$$\varepsilon = Ri = -\frac{d\Phi_C}{dt}$$

**Equação 9.** Lei de Faraday.

Este resultado é conhecido como a Lei de Faraday. De modo quantitativo, Halliday et al (1996) define essa Lei como: “A fem induzida numa espira condutora é igual ao negativo da taxa em que o fluxo magnético através da espira está variando com o tempo.

#### 4.2.6 Lei de Lenz

Em 1834, três anos após Faraday ter formulado sua Lei sobre a Indução, Henrich Friedrich Lenz formulou a seguinte regra, conhecida com a Lei de Lenz, para determinar o sentido de uma corrente induzida numa espira fechada. Halliday et al (1996) a define como: “Uma corrente induzida surgirá numa espira fechada com um sentido tal que ela se oporá à variação que a produziu.” Ela explica o sinal negativo na Lei de Faraday, como sendo uma oposição.

A Lei de Lenz está diretamente ligada ao princípio da conservação de energia. Se a fem induzida tivesse sinal oposto ao da Lei de Lenz, ela tenderia favorecer a variação de fluxo. Tomemos como exemplo um ímã cuja face norte se aproxima da espira. Uma corrente em sentido oposto ao da Lei de Lenz criaria uma face sul na espira, atraindo o ímã para ela e acelerando seu movimento. Ele ganharia energia cinética e ao mesmo tempo produziria o calor no efeito Joule através da corrente induzida na espira, violando o princípio da conservação de energia (NUSSENZVEIG,1997).

#### 4.2.7 O Magnetismo e o Elétron

Os elétrons podem produzir magnetismo de três modos, segundo Halliday et al (1996).

1. **O magnetismo de cargas em movimento:** Elétrons se movendo no vácuo ou no interior de um fio condutor, assim como outras partículas carregadas em movimento, criam um campo magnético externo.
2. **O magnetismo e o Spin:** Do ponto de vista clássico, um elétron pode ser visto como uma carga muito pequena, com um momento angular intrínseco (ou Spin  $S$ ). Associado a ele existe o momento angular magnético do Spin. O módulo do momento angular do spin, como previsto pela teoria quântica é:

$$S = \frac{h}{4\pi} = 5,2729 \times 10^{-35} \text{ J} \cdot \text{s}$$

onde  $h$  é a constante de Planck.

Para medirmos o momento angular de átomos e elétrons, é mais conveniente utilizarmos a unidade de medida chamada de magnéton de Bohr ( $\mu_B$ ), definido como:

$$\mu_B = \frac{eh}{4\pi m} = 9,27 \times 10^{-24} \text{ J/T}$$

onde  $e$  é a carga elementar e  $m$  a massa do elétron.

**3. Magnetismo do Movimento Orbital:** Os elétrons ligados aos átomos existem em estados que possuem um momento angular orbital intrínseco, correspondendo classicamente ao movimento do elétron numa órbita em torno do núcleo do átomo. Estes elétrons em órbita são equivalentes a minúsculas espiras de corrente que possuem um momento magnético orbital associado a eles. Assim como todas as outras propriedades físicas examinadas no nível atômico, o momento magnético orbital do elétron é quantizado, sendo restrito a múltiplos inteiros do magnéton de Bohr.

#### 4.2.8 Paramagnetismo

Materiais paramagnéticos apresentam momentos magnéticos atômicos permanentes que tem direções aleatórias na ausência de um campo magnético aplicado. Com um campo magnético aplicado esses dipolos são alinhados com o campo em algum grau, produzindo uma pequena contribuição para o campo total que é adicionado ao campo aplicado. O grau de alinhamento é pequeno, exceto em campo muito fortes e em temperaturas muito baixas. Em temperaturas normais, o movimento térmico tende a manter as direções aleatórias dos momentos magnéticos (TIPLER; MOSCA, 2006).

#### 4.2.9 Ferromagnetismo

Os materiais ferromagnéticos possuem pequenas regiões do espaço chamadas de domínios magnéticos, nas quais os momentos magnéticos atômicos permanentes são alinhados. Quando o material é desmagnetizado, a direção de alinhamento em um domínio é independente daquela de outro domínio, de tal modo que nenhum momento magnético líquido é produzido. Quando o material é magnetizado, os domínios de um material ferromagnético são alinhados, produzindo uma contribuição muito forte para o campo magnético. Esse alinhamento pode persistir mesmo quando o campo externo é removido, deixando desse modo o material permanentemente magnetizado (TIPLER; MOSCA, 2006).

### 4.2.10 Diamagnetismo

Os materiais diamagnéticos são aqueles nos quais os momentos magnéticos de todos os elétrons de cada átomo se cancelam, deixando cada átomo com um momento magnético nulo na ausência de um campo externo. Em um campo externo, um momento magnético muito pequeno é induzido, tendendo a enfraquecer o campo. Esse efeito é independente da temperatura (TIPLER; MOSCA, 2006).

### 4.2.11 Equações de Maxwell

As equações de Maxwell, relacionam os vetores campo elétrico ( $\vec{E}$ ) e magnético ( $\vec{B}$ ) e suas fontes, que são cargas elétricas e as correntes. Essas equações resumam as leis experimentais da eletricidade e do magnetismo como, as leis de Coulomb, Gauss, Biot-Sarvat, Ampère e Faraday. Essas leis experimentais são válidas de forma geral, exceto a lei de Ampère, que se aplica apenas para correntes contínuas em regime permanente (TIPLER; MOSCA, 2006).

Nós temos quatro equações básicas de Maxwell (quadro 3) são:

**Quadro 3.** Equações de Maxwell (HALLIDAY ET AL; 1996, p.315).

Número	Nome	Equação	Descrição
I	Lei de Gauss da eletricidade	$\oint E \cdot dA = q/\epsilon_0$	Descreve a carga e o campo elétrico
II	Lei da Gauss do Magnetismo	$\oint B \cdot dA = 0$	Descreve o campo magnético
III	Lei da indução de Faraday	$\oint E \cdot ds = -d\Phi_B/dt$	Descreve um campo elétrico produzido por um campo magnético
IV	Lei de Ampère	$\oint B \cdot ds = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt}$	Descreve um campo magnético produzido por um campo elétrico ou por uma corrente ou por ambos

As equações de Maxwell foram muito importantes, pois unificaram a Óptica com a Eletricidade.

## 5 A PESQUISA

Neste capítulo, faremos uma descrição da proposta de utilização da História em Quadrinhos Astronauta Magnetar, descrevendo o processo de aplicação e a metodologia de pesquisa.

### 5.1 Aspectos Gerais e Objetivos

Nossa proposta de Ensino associada a este trabalho, tem como objetivo utilizar uma História em Quadrinho de caráter motivador e instigador no ambiente escolar, verificando o modo de como este material poderia ser um elemento facilitador da aprendizagem.

A escolha de um Quadrinho Motivador, se deu pelo fato deste material possuir um enredo muito rico e chamativo, potencialmente chamariz para trabalhar temas físicos sobre magnetismo e características dos Magnetares.

O objetivo específico deste trabalho pode ser dividido em dois momentos: Num primeiro momento fizemos um estudo do material, e dos temas que poderíamos abordar. Nessa segunda etapa, fizemos uma aplicação desse material no ambiente escolar. Nesse trabalho em particular, os conceitos a serem trabalhados com o Quadrinho Astronauta Magnetar será a Astrofísica e o Magnetismo, por se tratar de temas que podem propiciar uma rica discussão, levando o aluno a viver uma experiência nova dentro do cenário escolar.

O estudo foi realizado em uma escola da Rede Pública da cidade de Rio Claro, no âmbito das atividades do PIBID Física Rio Claro, na forma de um minicurso oferecido a alunos dos três anos do Ensino Médio.

O minicurso, intitulado “Aprendendo Física com Histórias em Quadrinhos”, foi desenvolvido nos dias 03, 04, 10 e 11 de novembro de 2015, com duração de 2 horas cada dia. Tivemos duas turmas em cada data, com diferentes horários.

Discutiremos a seguir a respeito da metodologia empregada na pesquisa.

## 5.2 Caracterização da Escola

A escola escolhida está localizada no Centro da cidade de Rio Claro, trata-se de uma instituição de ensino pública de Ensino Médio pertencente ao Governo do Estado de São Paulo.

A escolha dessa Escola se deu pelo fato dela ser parceira do PIBID Física. Para a realização deste minicurso, tivemos apoio dos diretores e coordenadores da Escola, assim como da professora de Física da mesma.

Nosso público, foram alunos do Ensino Médio. Tivemos 31 alunos inscritos (12 alunos da 1º Série, 9 alunos da 2º Série e 10 alunos da 3º Série), embora na execução efetiva tivemos 7 alunos frequentes. Algo que não era esperado por nós aconteceu no primeiro dia do minicurso e nos demais. Dos 31 alunos inscritos no minicurso, apenas 7 alunos participaram dele com frequência. Não temos como objetivo avaliar neste trabalho essa diferença entre interessados e participantes. O fato do minicurso ocorrer em período inverso pode ser uma das fontes desse problema.

Esses alunos, não tiveram nenhum contato anterior com Astrofísica durante o Ensino Médio, e muito pouco com Magnetismo, deste modo não possuindo provavelmente conceitos arraigados e decorados pelo formato tradicional ensino escolar. Este fato, permitiu um melhor delineamento das ideias prévias dos discentes acerca do conteúdo abordado.

## 5.3 Metodologia de Pesquisa

Essa pesquisa se caracterizou como de natureza qualitativa/exploratória acerca da análise da influência de uma História em Quadrinhos de caráter motivador e instigador na aprendizagem de Astrofísica e Magnetismo.

## 5.4 O Estudo de Texto como técnica de Ensino

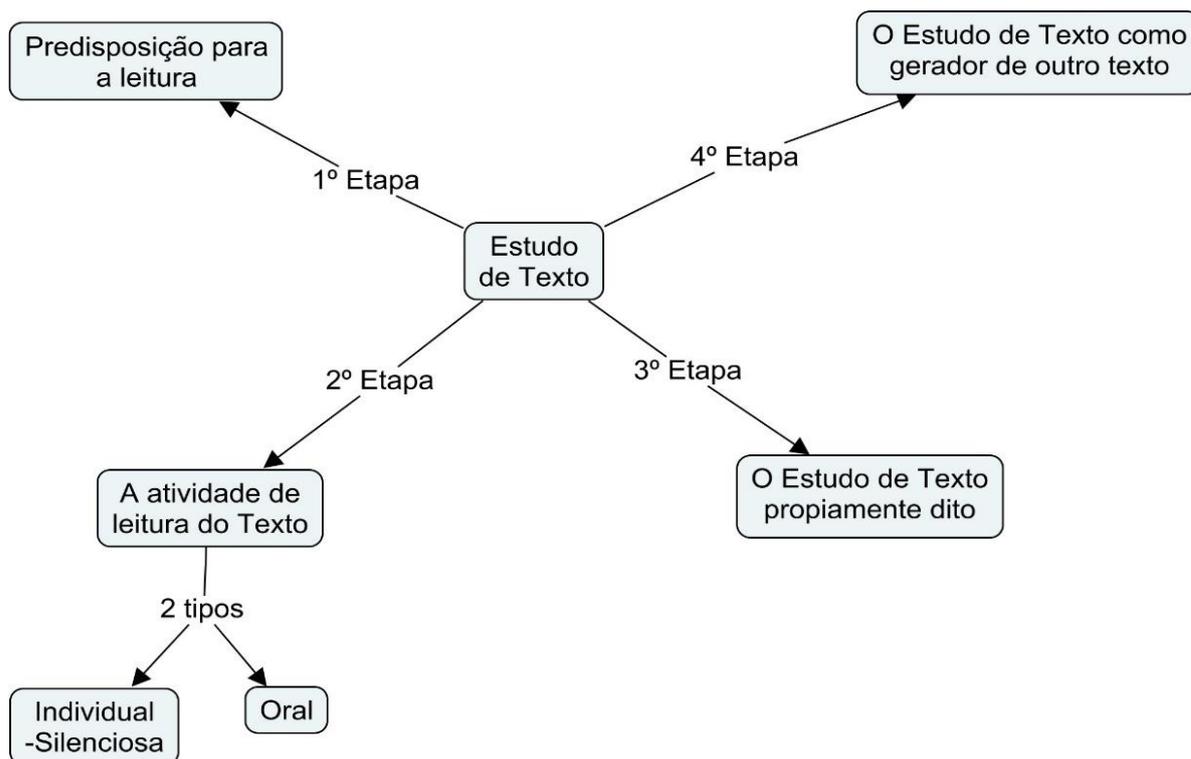
Discutiremos nesta seção a técnica<sup>10</sup> utilizada para se trabalhar o estudo de texto. Azambuja e Souza, discutem como deve ser trabalhado o Estudo de Texto:

---

<sup>10</sup> Partindo-se do ponto de vista de que as técnicas de ensino são meios que operacionalizam o fazer pedagógico (AZAMBUJA; SOUZA, 1996, p.49).

(...) estudar um texto é trabalhar nele de modo analítico e crítico, desvendando-lhe sua estrutura, percebendo os recursos utilizados pelo autor para a transmissão da mensagem, descobrindo o objetivo do autor, antevendo hipóteses, testando-as, confirmando-as ou refutando-as. (AZAMBUJA; SOUZA, 1996, p.49)

Azambuja e Souza (1996) dividem como recurso didático essa técnica em quatro etapas (figura 23).



**Figura 23.** Etapas para a realização do Estudo de Texto

1º Etapa: Nessa etapa, o professor motivará o aluno despertando nele o interesse pelo texto a ser estudado. Motivar é predispor alguém a fazer alguma, aguçando sua curiosidade, é impulsionar alguém para a realização de alguma tarefa, ativar o conhecimento. Para isso, podemos partir de experiências reveladas pelo leitor a desencadear uma série de atividades, como observação, discussão, relato, debate sobre filmes e pesquisa bibliográfica, que irão enriquecer o interesse pelas etapas anteriores.

2º Etapa: Nesta etapa, ocorre a leitura do material a ser estudado. A leitura pode acontecer de dois modos: individual-silenciosa ou oral. A leitura individual-silenciosa é importante em um primeiro contato com o texto, de modo que o aluno mantenha seu

próprio ritmo de leitura e busque o significado global da mesma. Já na leitura oral, que é apropriada para textos menores, tem-se como objetivo o treino expressivo de leitura oral e o processo de formar bons ouvintes.

3º Etapa: Nesta etapa, ocorre o real Estudo de Texto, onde a compreensão do texto deixa de ser superficial, à medida que o aluno levanta hipóteses, para testá-las, confirmá-las ou refutá-las. Podemos então trabalhar o texto em dois níveis: verbal e o não verbal. No verbal, trabalharemos o valor das palavras e das expressões. No não verbal, trabalharemos com a observação dos desenhos e imagens contidas no texto ou na capa. Azambuja e Souza (1996) resumem que “Estudar um texto é perceber não só o que está explícito, mas também o que se apresenta de modo mais sutil”.

4º Etapa: Nesta etapa, temos o Estudo de Texto como gerador de outro texto. Nela, o aluno irá produzir diferentes leituras, adquirindo novos conhecimentos, na produção e criação de novos textos, sendo estes a nível verbal ou não verbal.

Um das vantagens dessa abordagem, é o fato dela envolver o aluno, levando a desenvolver sua capacidade de interpretação, seja com assistência mais direta do professor ou apenas com orientação do mesmo, para que o aluno possa caminhar sozinho.

Segundo Azambuja e Souza (1996) atividades envolvendo Estudo de Texto, vem sendo realizada de maneira errônea, de modo que a atividade de leitura é algo superficial, onde o aluno é levado a ter uma atitude passiva, o que causa um desinteresse total pela mesma. Durante tais atividades, pouco se desenvolve as habilidades intelectuais (compreensão, interpretação, análise, síntese e recriação de novos textos). Azambuja e Souza se baseiam na seguinte concepção:

(...) o Estudo de Texto deve-se basear na concepção de leitura como sendo um ato dinâmico, ativo e produtivo, em que o ato de ler não é visto como uma mera decodificação de uma mensagem, mas sim como uma atividade interativa entre leitor-autor-texto-contexto. (AZAMBUJA; SOUZA, 1996, p.51)

Buscamos desenvolver a aplicação do Estudo de Texto da HQ com os alunos baseado nesta proposta (Técnica Educacional), procurando utilizar as quatro etapas em conjunto com os alunos que participaram do minicurso.

Ao analisarmos as nossas aulas, podemos estabelecer uma relação direta com as etapas do Estudo de Texto (quadro 4), de modo:

**Quadro 4.** Relação entre nossas aulas e as etapas do Estudo de texto.

1º Aula	1º Etapa: Motivação por parte do professor e 2º Etapa: Leitura oral da História em Quadrinho de caráter motivador.
2º Aula	3º Etapa: O Estudo de texto propriamente dito.
3º Aula	3º Etapa: O Estudo de texto propriamente dito.
4º Aula	4º Etapa: Estudo de Texto como gerador de um novo texto.

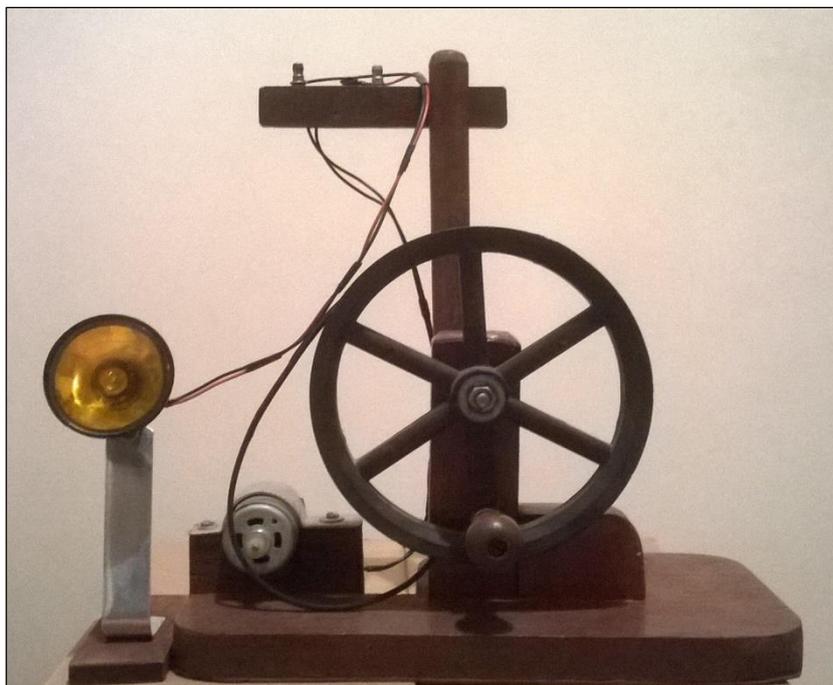
### 5.5 O desenvolvimento do Minicurso e os Instrumentos utilizados

Durante o minicurso, visando um melhor acompanhamento e posterior análise das observações, utilizamos os seguintes instrumentos:

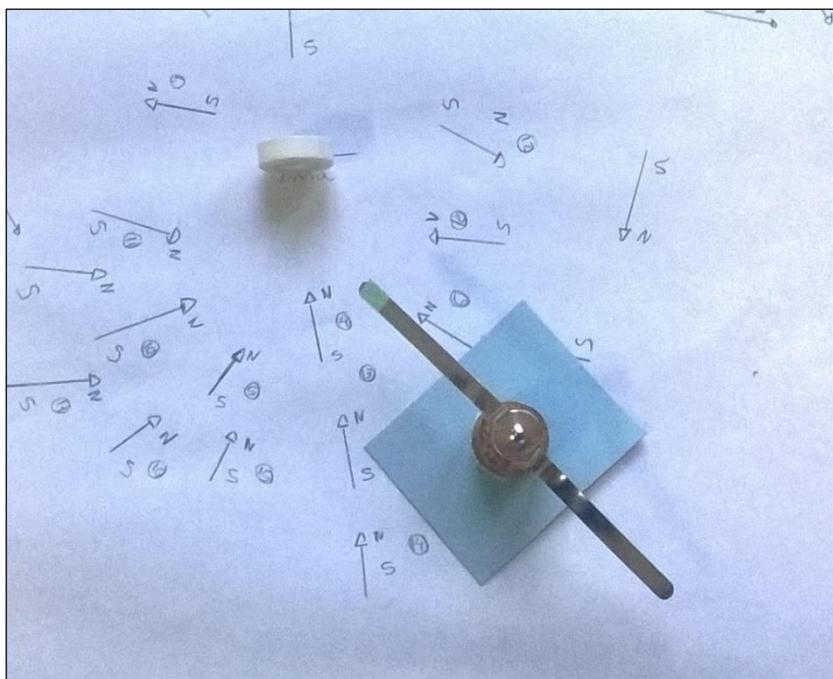
- 1) Diferentes Histórias em Quadrinhos, de diferentes gêneros e editoras (*Marvel Comics, DC Comics, Image Comics, Dark Horse*)
- 2) Uma História em Quadrinhos de caráter motivador e instigador (*Astronauta Magnetar*).
- 3) Documentário (Lugares perigosos do universo, *History Channel, 2007*) e vídeos explicativos.
- 4) Notícia de jornal.
- 5) Recursos do projetor multimídia.
- 6) Experimentos (gerador de corrente alternada e bússola de baixo custo)



**Figura 24.** HQ's de diferentes editoras.



**Figura 25.** Experimento gerador de corrente alternada.



**Figura 26.** Experimento bússola caseira de baixo custo.

No quadro 5, apresentamos a estrutura de cada uma das aulas do Minicurso e os instrumentos utilizados e a temática trabalhada.

**Quadro 5.** Estrutura das aulas e os instrumentos utilizados.

Aulas	Temas trabalhados	Instrumentos Utilizados
1º Aula	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresentação</li> <li>2. Apresentação do Projeto</li> <li>3. Definição de Histórias em Quadrinhos</li> <li>4. Surgimento das Histórias em Quadrinhos</li> <li>5. Primeiro contato com uma História em Quadrinhos</li> <li>6. O nosso material de Estudo</li> <li>7. Leitura da História em Quadrinhos escolhida</li> <li>8. Momento de discussão</li> </ol>	Diferentes Histórias em Quadrinhos, História em Quadrinhos de caráter motivador e instigador e recursos do projetor multimídia.
2º Aula	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Relembrando as discussões da última aula</li> <li>2. Estudo da História em Quadrinhos de caráter motivador</li> <li>3. Astrofísica               <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1 Dimensão física das estrelas</li> <li>3.2 Ciclo de vida das estrelas</li> <li>3.3 Estrelas de Nêutrons e Magnetares</li> </ol> </li> </ol>	História em Quadrinhos de caráter motivador e instigador, vídeos demonstrativos, documentário, notícia de jornal e os recursos do projetor multimídia.
3º Aula	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1. Relembrando as últimas aulas</li> <li>➤ 2. O Magnetismo               <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 2.1 Ímãs naturais</li> <li>➤ 2.2 Caracterização dos ímãs</li> <li>➤ 2.3 Campo Magnético</li> <li>➤ 2.4 Linhas de Campo</li> <li>➤ 2.5 A Terra como um ímã</li> <li>➤ 2.6 Eletromagnetismo</li> <li>➤ 2.7 Força Magnética</li> </ul> </li> </ul>	Recursos do projetor multimídia, experimentos vídeos demonstrativos
4º Aula	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Relembrando as discussões da última aula</li> <li>2. Eletromagnetismo               <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 Força Eletromotriz (f.e.m) Induzida</li> <li>2.2 Fluxo Magnético</li> <li>2.3 Lei de Faraday</li> <li>2.4 Geradores</li> <li>2.5 Usinas Hidrelétrica, Termoelétrica, Nuclear e Eólica.</li> </ol> </li> <li>3. Produção de materiais pelos alunos, que envolve quadrinhos, cartazes e poesias.</li> </ol>	Recursos do projetor multimídia, experimentos vídeos demonstrativos

### 5.6 O Estudo de Texto como gerador de um novo texto

Ao final das discussões a respeito do tema, os alunos deveriam elaborar um material, que fosse inspirado nos temas discutidos pela História em Quadrinhos Astronauta Magnetar. Foi proposto que eles poderiam elaborar uma História em Quadrinho ou uma Poesia.

Para a elaboração desse material, foi sugerido um momento de discussão inicial, onde os alunos poderiam expor suas ideias e complementar as ideias dos demais colegas.

Como Testoni sugere:

A confecção de uma História em Quadrinhos pelos próprios alunos busca verificar uma provável compreensão da discussão realizada em sala de aula, tendo em vista que na montagem do enredo de uma HQ é fundamental que os autores possuam domínio do tema a ser abordado para que possam tratá-lo através de textos claros e concisos, colocados de forma coerente e bem-humorada no contexto, características fundamentais do Quadrinho. (TESTONI, 2004, p. 73)

Tal reflexão de Testoni (2004), se aplica de maneira muito semelhante a produção de uma Poesia, de modo que nesta, não possuímos a linguagem não verbal como complemento à linguagem verbal, como ocorre nos Quadrinhos.

## 6 RELATOS DAS EXPERIÊNCIAS DE ENSINO

Neste capítulo, vamos analisar os dados obtidos nos quatro dias de realização do minicurso. Com o intuito de facilitar a visualização dos resultados, iremos expor esses dados de acordo com cada dia no qual foi aplicado o minicurso.

### 6.1 Primeira Aula

Em nossa primeira aula, realizamos os dois primeiros processos do Estudo de Texto. O primeiro foi a fase da motivação por parte do professor, que caracteriza a 1ª Etapa do Estudo de Texto. O Segundo, foi a leitura oral da História em Quadrinhos Astronauta Magnetar, que foi projetado em uma tela utilizando-se dos recursos multimídias que tínhamos em disponibilidade. Tal atividade caracterizou-se como sendo a 2ª Etapa do Estudo de Texto.

Os resultados de ambas as etapas serão discutidos a seguir, a partir de registros de caderno de campo.

#### 1ª Etapa

Começamos nosso minicurso de acordo com o que fora estipulado por Azambuja e Souza (1996), que foi a fase da motivação por parte do professor. Começamos então, com um momento de apresentação dos participantes, onde eles tinham de responder a seguinte pergunta “Qual seu nome? Qual seu ano e sua turma? Você é um leitor de Quadrinhos? O que motivou você a participar deste minicurso sobre física e Quadrinhos? Quais suas perspectivas sobre ele?”. A partir das respostas dos alunos, conseguimos traçar um perfil deles, e observamos que a maioria dos alunos estavam participando porque gostavam de Histórias em Quadrinhos. Interessante mencionar que, foram poucos que responderam que o motivo deles estarem ali era por causa da Física, de modo que o fato deles aprenderem Física seria uma consequência do minicurso, e não o objetivo principal buscado por eles. Esse foi um momento de socialização entre eles, uma vez que tínhamos alunos de diferentes turmas e séries.

Durante toda a 1ª Etapa da fase de Estudo de Texto, os alunos foram muito participativos, de modo a estarem sempre buscando argumentar a respeito das

questões colocadas a eles, desde do processo de definição da História em Quadrinho propriamente dito, até quando começamos um processo de relembrarmos do primeiro contato que eles tiveram com os Quadrinhos.

No processo de relembrarmos o primeiro contato com as Histórias em Quadrinhos, muitas respostas interessantes foram dadas. De certa forma elas eram semelhantes também. Todos os alunos responderam que o primeiro Quadrinho que tiveram contato tinha sido Turma da Monica, do Mauricio de Sousa, mostrando-nos termos feito uma boa escolha do personagem Astronauta.

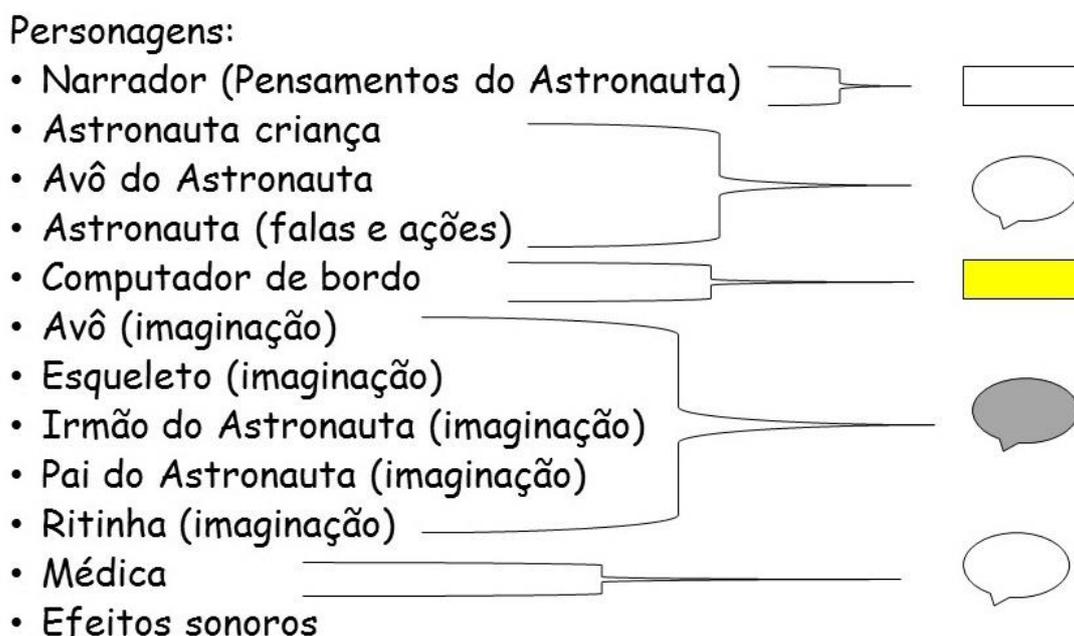
Discutimos também a respeito das grandes editoras de Quadrinhos, de modo que para isso, os alunos tiveram contato com diferentes materiais (Marvel Comics, DC Comics, Image Comics e Dark Horse). Esse contato com o material impresso é importante principalmente para aqueles alunos que não eram leitores regulares de Quadrinhos, além do fato desse material ser chamativo e explorar o lúdico, em um momento de descontração.

Concluimos que ao final dessa 1º Etapa, os alunos estavam envolvidos com as Histórias em Quadrinhos, dessa maneira, e mostraram sentir-se motivados e empolgados para as etapas seguintes que seriam desenvolvidas.

## 2º Etapa

Nesta etapa, nós fizemos a leitura oral da História em Quadrinhos Astronauta Magnetar. Começamos apresentando o material aos alunos, e tentando fazer com que eles “adivinhassem” quem era o personagem Astronauta, exposto na capa. Inicialmente eles não reconhecerem que era o mesmo Astronauta do Mauricio de Sousa, mas atualizado. Após um momento onde comparamos os personagens de Mauricio de Sousa e de Danilo Beyrtuh, eles fizeram essa analogia. Passado esse momento de apresentação do Material que seria estudado por nós, fomos para o momento de leitura do Quadrinho.

A leitura do material se deu de maneira oral e dinâmica, de modo que propusemos uma divisão (figura 27), onde cada pessoa seria responsável por ler a fala de um personagem específico e um aluno seria responsável por fazer os efeitos sonoros presente nesta História em Quadrinhos. A divisão das falas dos personagens se deu da seguinte maneira:



**Figura 27.** Fala dos diferentes personagens da HQ e sua divisão para a leitura oral.

O resultado foi curioso, pois não é comum lermos Quadrinhos desta maneira. Todos os alunos participaram desta leitura, alguns de maneira mais tímida, enquanto outros muito mais à vontade. Esse momento de leitura oral é importante para praticarmos tanto a leitura dos alunos quanto a audição deles, no processo de torná-los bons ouvintes também. Durante esse processo de leitura proposto, eles se confundiram e se perderam na leitura, devido à grande quantidade de personagens presentes na História em Quadrinhos. Outro fato que incomodou um pouco, foi o fato de que Astronauta Magnetar é um Quadrinho extenso, exigindo uma leitura mais concentrada e atenta. O tempo médio de leitura oral deste Quadrinho foi de cerca de 45 minutos.

Ao final do processo de leitura, propusemos a seguinte questão para eles pensarem e responderem “Quais pontos ou aspectos desta História em Quadrinhos chamaram mais a sua atenção?”.

As respostas foram unânimes, o que mais chamou a atenção deles foi a dificuldade do homem sobreviver no espaço, que é um habitat cheio de perigos eminentes, e ele estando só, as coisas se tornam ainda muito mais difíceis.

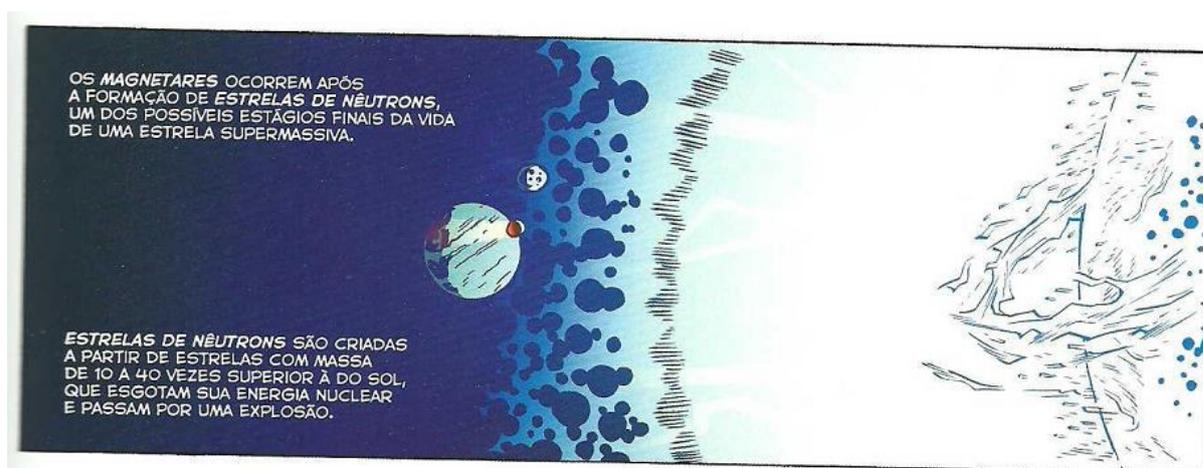
## 6.2 Segunda Aula

Em nossa segunda aula, começamos a realizar a 3º Etapa do Estudo de Texto, que é a fase do onde analisamos a HQ, explorando os códigos e mensagens presente nela. Neste processo, a compreensão do texto deixa de ser superficial.

Nesta aula, começamos a trabalhar os conceitos Físicos de Astrofísica presentes no Quadrinho, tanto no aspecto verbal quanto no não-verbal.

### 3º Etapa

Começamos nesta etapa a fazer o real Estudo de Texto, e para isso abordamos a Astrofísica, como sendo uma forma de trabalharmos o Magnetar, que está fortemente presente no Quadrinho tanto no código verbal quanto no não verbal (figura 28).



**Figura 28.** Definição de Magnetar na HQ por Beyruth (Beyruth, 2004, p.11).

Os alunos tiveram muito pouco ou nenhum contato anteriormente na Escola com a Astrofísica, sendo algo completamente novo para eles. Quando começamos a discutir o que era a Astrofísica, ficou claro o grande interesse que eles tinham nesse ramo da Astronomia, que estuda a constituição dos astros.

À medida que fomos apresentando os conceitos, os alunos começaram a ligá-los com conceitos já aprendidos anteriormente. Quando estudávamos as estrelas, em específico a relação entre a cor de uma estrela e sua temperatura. Os alunos relacionaram com conceitos termodinâmicos já aprendidos ou, com experiências de seus cotidianos, como exemplo, o fato de um metal ficar com uma tonalidade rubra quando ele está há uma alta temperatura.

Durante esse processo de estudo da Astrofísica, diversas perguntas interessantes surgiram, proporcionando discussões e nos levando a pensar em aspectos relacionados ao cosmos que jamais tínhamos pensado, como a dimensão das estrelas, do quando grande elas são quando comparamos com a Terra e com todo o resto do universo, algo que causou um grande impacto neles.

Interessante o fato de que os alunos consigam relacionar conceitos estudados por nós com trechos do Quadrinho Astronauta Magnetar, bem como outros materiais como livros e filmes já lidos e vistos por eles, o que tornou o processo de ensino muito mais chamativo a todos.

### **6.3 Terceira Aula**

Nesta aula, demos sequência a 3a<sup>o</sup> Etapa, onde continuamos o real Estudo do Texto, trabalhando o Magnetismo. Essa foi uma sequência direta de nossa última aula, onde trabalhamos alguns conceitos de Astrofísica presentes na História em Quadrinhos Astronauta Magnetar.

Começamos inicialmente apresentando o magnetismo, e tentando relacioná-lo com elementos do cotidiano dos alunos. Para isso, levantamos a seguinte questão “Quando falamos de Magnetismo, qual o primeiro objeto em que vocês pensam? E por que este objeto?”. Em todas as respostas dos alunos, a palavra ímã foi mencionado, de modo que eles associavam o magnetismo diretamente como um fenômeno vinculado aos ímãs e suas características.

Demos sequência a nossa discussão, estudando as propriedades dos ímãs. Algo que chamou a atenção, foi quando começamos a discutir as propriedades dos ímãs em atrair certos materiais. Para isso, fizemos alguns testes para saber quais materiais eram atraídos e quais não eram. Todos concordaram que materiais como madeira, plástico e vidro não eram atraídos por os ímãs, e materiais metálicos como ferro era atraído.

Quando fizemos o teste com o Alumínio, que é um metal, todos acham que ele seria atraído pelo ímã, mas não foi o que aconteceu, o que deixou os alunos instigados com aquilo. Conseguimos com isso definir a propriedade que faz com que os materiais sejam ou não atraídos por ímãs, que é a propriedade de alguns materiais serem ferromagnéticos. Concluímos ao final da discussão então, que nem todo metal é

atraído por um ímã, mas apenas os ferromagnéticos, dessa maneira, desmitificando um conhecimento físico errôneo que grande parte dos alunos possuem.

Durante a discussão a respeito de campo magnético terrestre, os alunos interagiram com muitas perguntas, a respeito da influência dele em outros fenômenos, com: se esse campo tinha alguma interferência em como as aves se orientam, devido a um conhecimento prévio que eles já haviam analisado nas aulas de Biologia. Essa pergunta serviu como um estopim para outras que vieram a seguir. Interessante o fato de muitas das perguntas deles serem embasadas em fatos visto na internet, sendo alguns verídicos, com por exemplo, a proteção que o campo geomagnético nos oferece das erupções solares, e outros inverídicos, como a possibilidade desse campo magnético ser o responsável por descarregar baterias de celulares e baterias de outros eletrônicos.

Para uma compreensão melhor dos conceitos discutidos, utilizei-me de alguns experimentos, como uma bússola e um pequeno gerador.

Os experimentos foram importantes, pois conseguiram mostrar um lado mais palpável do Eletromagnetismo. Em nossa abordagem, os experimentos funcionaram como um complemento ao Quadrinho, assim como outros recursos, como os vídeos e documentários utilizados por nós.

O momento mais interessante foi quando comparamos as grandezas do campo magnético da Terra e o campo magnético de um Magnetar (quadro 6). Os alunos ficaram espantados com a diferença de grandezas envolvidas, fazendo levantar a seguinte questão: “O campo magnético da Terra é fraco ou o do Magnetar é muito forte?”.

**Quadro 6.** Comparação entre as dimensões físicas da Terra e de um Magnetar.

	<b>Campo Magnético (G)</b>	<b>Raio (Km)</b>	<b>Massa (Kg)</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>
MAGNETAR	$1,3 \times 10^{14}$	10	$7,92 \times 10^{31}$	$6,65 \times 10^{14}$
TERRA	0,5	6371	$5,97 \times 10^{24}$	5,51

Ao final da discussão, concluímos em conjunto que o campo magnético da Terra é muito fraco, porém muito importante; e o campo magnético de um Magnetar é extremamente forte, sendo dessa maneira ambas as perguntas respondidas.

#### 6.4 Quarta Aula

Em nossa última aula, iniciamos trabalhando a Lei de Faraday e todas as suas aplicações ligadas ao nosso cotidiano. Para isso, fizemos um pequeno debate onde discutimos a geração de energia elétrica por diferentes tipos de usinas, entre elas: Hidrelétrica, Termoelétrica, Nuclear e Eólica. Essa foi uma discussão muito rica, onde os alunos possuíam argumentos sobre os aspectos positivos e negativos de cada tipo de usina. Alguns desses conhecimentos eram prévios das aulas de Geografia, o que facilitou todo o processo.

Desenvolvemos então a 4ª Etapa do Estudo de texto, que é o texto como gerador de outro texto. A intenção era que os alunos produzissem um material, fosse um texto verbal ou não verbal, onde retratassem o conhecimento adquirido por eles durante o minicurso.

Começamos com uma conversa, onde os alunos puderam expor suas ideias a respeito de um material que eles iriam produzir. Nesse momento, todos os alunos puderam opinar a respeito das ideias dos colegas e dar sugestões. Minha função durante esse processo foi a de um mediador, de modo que a interação era feita pelos alunos, e meu papel era o de auxiliá-los. Ao final dessa conversa, os alunos começaram a produzir seus materiais.

A seguir são reproduzidos alguns dos materiais produzidos pelos alunos. Na sequência são colocadas análises sobre esses materiais

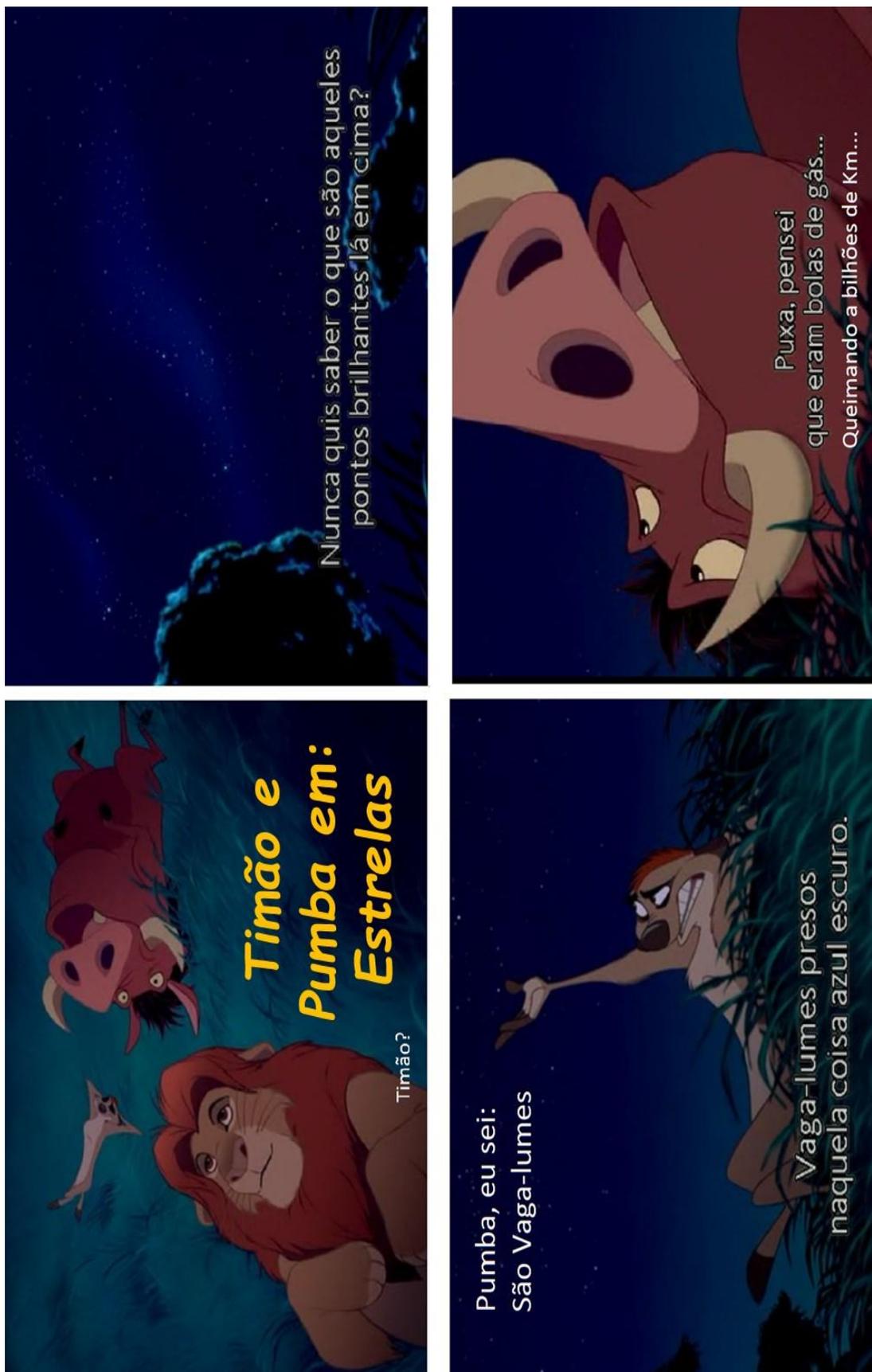


Figura 29. História em Quadrinhos produzido pelo aluno A1 por meio da releitura de um desenho animado.

# DON'T PANIC!

Releitura dos capítulos 10 e 11 da série Guia do Mochileiro.

O universo é um lugar desconcertantemente grande, um fato que, para continuar levando uma vida tranquila, a maioria das pessoas tende a ignorar

Muitos se mudaram, felizes, para qualquer outro lugar menor que fossem capazes de criar, e na verdade é isso que a maioria dos seres faz



... e justamente por isso o Vórtice da Perspectiva Total é tão horripilante assim.



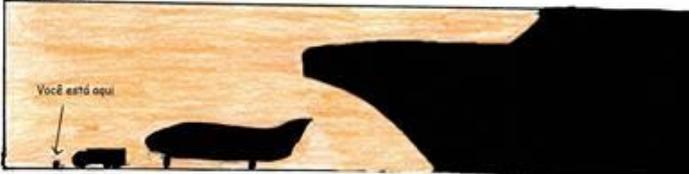
Quando você é posto no Vórtice, tem um rápido vislumbre



...de toda a inimaginável infinitude da criação e no meio disso, em algum lugar há um marcador minúsculo



... um ponto microscópico colocado sobre outro ponto microscópico dizendo: "Você está aqui".



O Vórtice da Perspectiva Total deriva sua imagem da totalidade do Universo a partir do princípio da análise extrapolativa da matéria.



O homem que inventou o Vórtice da Perspectiva Total o fez basicamente para irritar sua mulher.



Figura 30. História em Quadrinhos produzido pelo aluno A2

## O infinito

A grande explosão cósmica,  
 O esperma da humanidade.  
 Surgiram do princípio, sem forma,  
 Todas as galáxias da imensidade.

Planeta, sistema, estrela, constelação.  
 Interminável buraco negro.  
 Sucumbindo qualquer inteiro,  
 Deformando do espaço-tempo, a  
 relação.

Das prisões eternas do universo,  
 Encontro-me relativamente distante.  
 Imerso num mundo macroscópico,  
 Do qual meu planeta é apenas  
 figurante.

Esfera, imperfeito planeta Terra.  
 Um gigante resplandecente,  
 transcendente.

Cores, vidas, bailarina no espaço.  
 Num compasso, entrelinhas.

Hierarquia de corpos celestes.  
 Saliente satélite que a mim trouxeste.  
 Ao redor da estrela de fogo,  
 Sem a qual eu corro, morro.

Do escuro eu via o infinito.  
 Tão bonito quanto misterioso,  
 Tão tranquilo quanto nebuloso.  
 Como uma aranha que tece sua teia.  
 Tramas, malhas, cobertas por um  
 véu.  
 Incertas.

Finito que nos norteia,  
 Como palavras jogadas ao léu.  
 Portais para realidades paralelas,  
 Aquelas que eu nunca encontro,  
 Mas que me encontro no teu céu.

Figura 31. Poesia produzido pelo aluno A3

## Planeta Vida

O mais fascinante do infinito

É a constante mudança

A explosão no princípio

Fez do meu planeta, figurante

Estrelas e constelações

Geraram diferentes interpretações

Mudanças e explosões cósmicas

Podem ser constantes incógnitas

O que começa tem um fim

Nosso universo é assim

A beleza é infinda

E temos muito a descobrir ainda

Nossa é a lua mais linda

Essa é a nossa Era

Nesta imperfeita esfera

Pode não ser o que você espera

Mas esse é o meu planeta Terra

**Figura 32.** Poesia produzido pelo aluno A4

O aluno A1, produziu um pequena História em Quadrinhos (figura 29), motivado por uma cena do filme *The Lion King* (WALT DISNEY STUDIOS, 1994), onde aparecem três personagens conversando a respeito do que seriam os pontos brilhantes no céu. Esse aluno procurou trabalhar os conceitos de Astrofísica discutidos por nós, que era a formação das Estrelas. Esse Quadrinho foi produzido de modo que foram feitas capturas de quatro cenas do filme, e adicionado alguns balões com as falas. Esse se tratou de um material que explorou a linguagem verbal e não verbal, além de ter sido muito criativo, conciliando elementos aprendidos durante nosso minicurso.

O aluno A2, produziu uma História em Quadrinho (figura 30) que foi inteiramente desenhada por ele. A inspiração desse aluno, veio do volume 5 do livro “O Guia do Mochileiro Das Galáxias – Até mais, e obrigador pelos peixes”, de autoria de Douglas Adams e Eoin Colfer. Esse aluno quis retratar um pequeno trecho do livro, onde é basicamente feita uma comparação da dimensão do Homem com o restante do universo. Esse aluno procurou trabalhar o conceito de dimensões do Universo, um tema Astrofísico tratado por nós. Esse material explorou a linguagem verbal e não verbal, onde o aluno autor explorou todo seu talento e criatividade, conciliando elementos aprendidos durante nosso minicurso.

O aluno A3, produziu uma poesia (figura 31), onde é feito uma abordagem de processo de evolução do Universo, desde sua possível criação, a grande explosão cósmica, o *Big Bang* passando pelas estrelas, planetas, satélites e todos os elementos que compõe o grande Universo. Esse aluno trabalhou nessa poesia vários conceitos Astrofísicos vistos por nós durante todo o minicurso. Esse se tratou de um material que explorou exclusivamente a linguagem verbal, conciliando todo o talento e criatividade do autor, com elementos aprendidos durante nosso minicurso.

O aluno A4, produziu também uma poesia (figura 32), onde ele também aborda o processo de evolução do Universo, que supostamente criou estrelas, constelações e planetas, tendo essa poesia um grande enfoque no planeta Terra. Esse aluno trabalhou alguns conceitos de Astrofísica, como o processo de formação das estrelas e conceitos ligados ao planeta Terra. Esse se tratou de um material que explorou exclusivamente a linguagem verbal, conciliando todo o talento e criatividade do autor, com elementos aprendidos durante nosso minicurso.

Os materiais confeccionados pelos alunos, além de possuir originalidade, mesmo quando trabalhados como releituras de outras obras, apresentam uma contextualização coerente e entendimento de conceitos trabalhados no minicurso.

Fato curioso, é que todos os alunos optaram por trabalhar os temas da Astrofísica ligados ao Magnetar, deixando em segundo plano os elementos ligados ao Eletromagnetismo. Tal fato pode ter se dado devido ao efeito fascinante e chamativo proporcionado pela Astrofísica e as inúmeras possibilidades ligadas ao Universo que nos fazem refletir a respeito de nossas vidas.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As Histórias em Quadrinhos apresentam uma série de características próprias, que as tornam interessantes como produção cultural e como recursos didáticos potencialmente aplicáveis ao Ensino de Física. Essas características fundamentais são as linguagens verbal e não verbal e a ludicidade.

De um ponto de vista geral, os Quadrinhos são um objeto do nosso cotidiano, que tem-se mostrado um importante artístico, capaz de influenciar gerações. O fato do Quadrinho ser um objeto comum em nosso cotidiano, o qual todos nós já tivemos contato, tornam sua aplicação no Ensino muito mais interessante, por se tratar de um objeto já conhecido pelos discentes.

Astronauta Magnetar se mostrou um Quadrinho rico em conceitos físicos a serem explorados, além de tratar sobre assuntos interessantes e atuais, como a busca do Homem em chegar a lugares jamais explorados. Aliado ao fator científico, temos as características plásticas e linguísticas bem exploradas pelo autor.

Astronauta Magnetar é um material que consegue permitir o leitor ao leitor viajar em sua imaginação, sendo fidedigno às tirinhas de Mauricio de Sousa.

Tomando-se como base as justificativas teóricas discutidas, procuramos verificar neste trabalho o potencial de uma História em Quadrinho de caráter motivador e instigador dentro do ambiente da sala de aula, na forma de um minicurso.

Para tanto, fizemos um estudo minucioso do nosso material, buscando todos os elementos físicos presentes nele. Dentre esses elementos, no enfoque foi no Magnetar, e de como ele podia se relacionar com a Astrofísica e o Eletromagnetismo.

Possuíamos inicialmente um desafio, semelhante ao da disciplina de Física no Ensino Médio, que é o de trabalhar temas tão abstratos e complexos com estudantes. A HQ abordada segundo os princípios de Azambuja e Souza (1996) para o Estudo de Texto foi um importante instrumento para rompermos esses desafios iniciais.

O formato de minicurso em horários inversos ao de aula com duração de oito horas, onde trabalhamos as diversas etapas do Estudo de Texto, permitiu liberdade metodológica e um trabalho com diversidade interessante de alunos, das 3 séries do Ensino Médio.

Interessante salientar as ricas discussões que surgiram entre os alunos durante todo o processo, partindo de temas e conceitos físicos pouco ou jamais vistos por eles, como a Astrofísica mesmo.

Durante todo o trabalho didático, a todo momento, nós nos remetíamos a trechos ou acontecimentos vinculados a *Astronauta Magnetar*, mostrando que essa História em Quadrinhos tinha sido o elemento motivador inicial de todo o processo de aprendizagem.

A elaboração de materiais pelos alunos se mostrou uma forma interessante de avaliar a participação dos alunos, seu entendimento do conteúdo e a utilização da linguagem das HQ. Neste caso, concluímos que a História em Quadrinhos e a Poesia foi um importante instrumento de inserção da arte como um instrumento auxiliar no Ensino de Física.

Os resultados animadores para o Ensino de Física podem ser constatados a partir do envolvimento dos alunos na leitura do Quadrinho, nas discussões teóricas e na elaboração dos materiais.

A História em Quadrinhos *Astronauta Magnetar* figura-se como um material que pode ser aplicada em turmas do Ensino Médio, como sendo um importante instrumento para instigar os alunos a buscarem compreender um pouco mais a Física.

## REFERÊNCIAS

- AZAMBUJA, Jorcelina Queiroz de; SOUZA, Maria Leticia Rocha de. O Estudo de Texto como técnica de Ensino. In: VEIGA, Ilma Passos Alencastro et al (Org.). **Técnicas de Ensino: Por que não?** Campinas: Cornacchia Livraria e Editora Ltda, 1996. p. 49-65.
- BEYRUTH, Danilo. **Astronauta Magnetar**. Barueri: Panini Books, 2014. 82 p.
- CAPELATO, Hugo Vicente. Estrelas. In: MILONE, André de Castro et al. **Introdução à Astronomia e à Astrofísica**. São José dos Campos: Inpe, 2003. p. 160-194.
- CARROL, Bradley W.; OSTLIE, Dale A.. **An in to introduction to Modern Astrophysics**. Ogden: Addison-wesley Publishing Company, Inc., 1996. 1325 p.
- CARRON, Wilson; GUIMARÃES, Osvaldo. **AS FACES DA FÍSICA**. São Paulo: Moderna, 2006
- ERNESTO, Marcia; SOARES, Leila. Investigando o interior da Terra. In: TEIXEIRA, Wilson et al (Org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. p. 63-82.
- GONICK, Larry; HUFFMAN, **Art. Introdução Ilustrada à Física**. São Paulo: Editora Harbra, 1994. 211 f.
- HALLIDAY, David. & RESNICK, Robert. **Fundamentos de física**, vol. 3, 9º ed, Rio de Janeiro: LTC , 1996.
- MELO, Gustavo Frederico Porto de. 18 DO ESCORPIÃO: UMA ESTRELA GÊMEA DO SOL NO CÉU DO HEMISFÉRIO SUL. In: VIEGAS, Sueli M. M.; OLIVEIRA, Fabíola de. **DESCOBRINDO O UNIVERSO**. São Paulo: Edusp, 2004. p. 256-263.
- NASCIMENTO JUNIOR, Francisco de Assis. **QUARTETO FANTÁSTICO: ENSINO DE FÍSICA, HISTÓRIAS EM QUADRINHOS, FICÇÃO CIENTÍFICA E SATISFAÇÃO CULTURAL**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- NEWMAN, Phil. **RXTE Discoveries: RXTE Helps Confirm Existence of Magnetars** - June 1998. 2011. Disponível em: <[https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xte/learning\\_center/discover\\_0698.html](https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xte/learning_center/discover_0698.html)>. Acesso em: 06 jul. 2015.
- NUSSENZVEIG, Hersh Moysés. **Eletromagnetismo: Curso de Física básica**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1997. 323 p
- OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e Astrofísica**. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2014. 792 p. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/livro.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2015.
- PEREIRA, Josias; PRADO, Thiago. A Decupagem de Direção: Gênese e Limitações Artísticas. In: XII CONGRESSO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO NA REGIÃO SUL, 12., 2011, Londrina. **Anais...** . Londrina: Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação, 2011. p. 1 - 14.
- RAMOS, Eugenio Maria de França. **Brinquedos e jogos no ensino de Física**. Dissertação de mestrado. USP (Instituto de Física e Faculdade de Educação). São Paulo. 1990.

SANTOS, Roberto Elísio dos; VERGUEIRO, W. C. S. **Histórias em quadrinhos no processo de aprendizado: da teoria à prática.** Eccos Revista Científica (Impresso), v. 27, p. 81-95, 2012.

TESTONI, Leonardo André. **Um corpo que cai: As Histórias em Quadrinhos no Ensino de Física.** 2004. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

TESTONI, Leonardo André.; ABIB, Maria Lucia Vidal dos Santos . **A utilização de Histórias em Quadrinhos no Ensino de Física.** Enseñanza de las Ciencias, v. extra, p. 1-5, 2005.

TIPLER, Paul. & MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros** ,Vol.2. 5ªed, Rio de Janeiro: LTC, 2006.

VERGUEIRO, Waldomiro. **Histórias em quadrinhos e serviços de informação: um relacionamento em fase de definição.** Datagramazero - Revista de Ciência da Informação, São Paulo, v. 6, n. 2, p.1 -13, abr. 2005.

## APÊNDICE A

**Quadro 1 – Decupagem da História em Quadrinho Astronauta Magnetar  
(BEYRUTH, 2014)**

Página	Descrição da Cena	Conteúdo Físico expresso de modo verbal	Conteúdo Físico expresso de modo não verbal
7	Temos uma retratação do avô do Astronauta em meio ao campo, segurando uma enxada.	O narrador-personagem utiliza-se do seguinte termo: “E, apesar de nunca ter se afastado mais de 50 quilômetros da fazenda (...)”, onde o espaço físico é abordado, quando o narrador se refere à distância de 50 quilômetros. A Física abordada é a Mecânica.	
8	Nessa cena temos o Astronauta ainda criança, lembrando de sua infância na casa de seus avós. A cena retrata um momento de pescaria entre Astronauta e avô.		Nesta cena, o avô do personagem lança uma pedra no lago, de modo que ela fosse rebatendo na superfície da água. O princípio físico envolvido seria o da conservação do momento linear da pedra, quando lançada com certo ângulo específico no lago. A Física abordada é a Mecânica.
9	O avô do Astronauta o ensina como deve ser a forma da pedra e como se deve lança - lá para que ela chapinhe na superfície da água do lago.	O avô se utiliza da seguinte frase: “Ache uma pedra achatada e jogue bem rente a linha da água, se conseguir no ângulo certo, ela vai chapinhar sobre a superfície indo mais longe (...)”. Percebe-se claramente na fala do avô, que o formato da pedra e o ângulo o qual ela é lançada influenciam em sua trajetória, de modo que o momento linear tende a se conservar. A Física abordada é a Mecânica.	Ao final da cena, o jovem personagem consegue lançar a pedra, de acordo com o que fora ensinado por seu avô. Nesta cena, temos claramente o princípio da conservação do momento linear, que permite que a pedra chapinhe na superfície da água, de acordo com o formato e com o ângulo de lançamento dela. A Física abordada é a Mecânica.
10	Temos o Astronauta dentro de sua nave indo em direção ao Magnetar.	Os aspectos abordados na fala do personagem são os seguintes: “(...) estrelas sucumbindo, planetas nascendo e galáxias se formando!”. Outra fala interessante do personagem é que “(...) os acontecimentos atrelas ao Magnetar testam os limites das leis da Física.”. A Física abordada é a Astrofísica.	Temos nessa cena uma primeira representação do Magnetar. Observamos também as centenas de asteroides que são atraídos pelo campo magnético dele. A Física abordada é a Astrofísica e o Eletromagnetismo.

**Quadro 1 – Decupagem da História em Quadrinho Astronauta Magnetar (BEYRUTH, 2014)**

Página	Descrição da Cena	Conteúdo Físico expresso de modo verbal	Conteúdo Físico expresso de modo não verbal
11	Temos nesta cena uma representação do Magnetar, feita por Beyruth, e uma descrição do Magnetar feita pelo Astronauta.	Na forma de uma narrativa, o narrador-personagem apresenta os seguintes conceitos atrelados ao Magnetar: “Os Magnetares ocorrem após a formação de uma Estrela de Nêutron, sendo esse um dos possíveis estágios de vida de uma estrela supermassiva. As Estrelas de Nêutrons são criadas a partir de estrela com massa de 10 a 40 vezes superiores à massa do sol, que esgotam sua energia e passam por uma explosão.”, chamada de supernova. “Instantes antes da explosão, a região central da estrela desmorona sob a força da gravidade, empurrando os elétrons para os núcleos dos átomos e obrigando-os a se combinar com prótons, formando nêutrons (...)”. “Nas estrelas de nêutrons, as explosões nucleares acabam. A força da gravidade, sem contrapartida da atividade nuclear, comprime a matéria dentro de uma esfera com raio muito pequeno de algumas dezenas de quilômetros.”. “A alta taxa de rotação da estrela de nêutrons eleva o já poderoso campo magnético a níveis de uma Magnetar, emitindo altos níveis de raios x e radiação gama.”. “Se tivesse uma massa maior, essa estrela poderia até mesmo se tornar um buraco negro.”. “E com uma superfície tão densa quanto um gigantesco diamante, o menor movimento da crosta gera uma abalo sísmico de 32 pontos na escala Richter! um terremoto estelar!”. A Física abordada é a Astrofísica, o	Temos uma representação feita pelo autor do Magnetar. Podemos observar alta luminosidade emitida pelo Magnetar, devido às altas temperaturas em sua superfície. Outro aspecto visualmente chamativo são os asteroides que são atraídos pelo campo magnético do Magnetar. A Física abordada é a Astrofísica e o Eletromagnetismo.

**Quadro 1 – Decupagem da História em Quadrinho Astronauta Magnetar (BEYRUTH, 2014)**

Página	Descrição da Cena	Conteúdo Físico expresso de modo verbal	Conteúdo Físico expresso de modo não verbal
		Eletromagnetismo e a Física Nuclear.	
12 e 13	Temos nessa cena uma grande representação do Magnetar, com centenas de asteroides de metal e gelo ao seu redor, e a nave do Astronauta indo em direção a ele.	É abordado na fala do Astronauta o "(...) anel de asteroides de metal e gelo, como se fosse uma coroa adornada por um diamante.". Outro ponto interessante, e na fala de seu computador de bordo, alertando o personagem sobre as emissões de radiação, de modo que "O cinturão está distante o suficiente para que as emissões de radiação sejam refletidas pelo casco da nave sem problemas.", e também que essa radiação irá interferir nas transmissões de rádio. A Física abordada é a Astrofísica, Ondulatória e a Física Nuclear.	Nessas duas páginas, temos a do anel de asteroides de metal e gelo, ao redor do Magnetar. A Física abordada é a Astrofísica.
14	Astronauta acabou de desembarcar com sua nave em um imenso asteroide, e terá escolher um traje especial para poder sair da nave, durante a instalação dos sensores.	É abordada nesta cena, de modo verbal pelo computador de bordo, a importância de se escolher o traje correto, que suporte a emissão de fortes raios-X. A Física abordada é a Física Nuclear.	
16	Nesta cena, o Astronauta pouso em um asteroide e instala o primeiro sensor, que será importante na captura de dados.	Temos o fenômeno da interferência causada pela emissão de raios-X no sistema de comunicação do Astronauta com sua nave. A Física abordada é a Ondulatória e a Física Nuclear.	É fortemente presente nesta cena, os diversos asteroides que circundam o Magnetar, e como o campo magnético do Magnetar os atrai. A Física abordada é a Astrofísica e o Eletromagnetismo.
17 e 18	Após reestabelecer contato com sua nave, Astronauta é avisado de um perigo iminente, um nível muito elevado de radiação vinda	Nesta cena, a vida do personagem é colocada em risco, devida há uma onda de radiação muito forte que o Magnetar irá emitir, de modo que seu traje não conseguiria suportar. A Física abordada	

**Quadro 1 – Decupagem da História em Quadrinho Astronauta Magnetar (BEYRUTH, 2014)**

Página	Descrição da Cena	Conteúdo Físico expresso de modo verbal	Conteúdo Físico expresso de modo não verbal
	do Magnetar em direção a ele.	é a Ondulatória e a Física Nuclear.	
19	Em meio ao perigo do impacto iminente da radiação, o Astronauta utiliza seu traje para lhe dar propulsão escapar.		A física está presente quando o personagem aciona os sistemas de propulsão de seu traje, se assemelhando ao processo de propulsão de foguetes. A Física abordada é a Mecânica.
20 e 21	Astronauta consegue sair do caminho da onda.	O personagem relata, que: “O espaço é mudo, mas a interferência eletromagnética da onda invade o meu traje enchendo-o com uma estática quase ensurdecadora”. A onda de radiação, devida a sua alta causa danos em seu em seu traje. A Física abordada é a Ondulatória.	
22	Pulso de onda radioativa atinge a nave do Astronauta.		A nave é atingida por uma onda radioativa, podendo causar danos ao sistema eletrônico e aos escudos de proteção. A Física abordada é a Ondulatória e a Física Nuclear.
24 e 25	Uma rocha metálica é atraída pelo Magnetar e entra em rota de colisão com a nave do Astronauta.		Uma rocha metálica, de grande dimensão, sendo atraído pelo campo magnético, devido a sua propriedade ferromagnética. A Física abordada é o Eletromagnetismo.
26	Acontece a colisão entre a nave e a grande rocha metálica.		Temos nessa cena uma retração de uma colisão de dois corpos, estando um estático e outro em movimento, remetendo ao tópico de colisões. A Física abordada é a Mecânica.
28	O Astronauta se vê numa situação difícil dentro de sua nave, onde quase todos os sistemas foram destruídos, deixando-o em uma	Na fala do personagem, temos a presença de alguns elementos ao qual ele está sujeito, como “(...) morrer asfixiado, cozido pela radiação, congelado, explodido ou envenenado.”,	

**Quadro 1 – Decupagem da História em Quadrinho Astronauta Magnetar (BEYRUTH, 2014)**

Página	Descrição da Cena	Conteúdo Físico expresso de modo verbal	Conteúdo Físico expresso de modo não verbal
	situação de naufrago.	tudo isso, pois os sistemas da nave são responsáveis por fornecer oxigênio, mantê-lo protegido da radiação e manter a temperatura interna da nave á uma temperatura correta. Vemos nessa situação o qual improvável sobreviver à deriva no espaço, devido aos fatores físicos que não proporcionam plena condição de vida aos seres humanos. A Física abordada é a Física-Química e a Física Médica.	
31 e 32	Astronauta se lança em direção a uma rocha de gelo, usando um traje próprio para alpinismo.		Para conseguir se lançar em direção a uma rocha de gelo, o personagem se aproveita da conservação do momento linear e da baixa gravidade presente onde ele se encontra. A Física abordada é a Mecânica.
34	Astronauta junto com uma rocha de gelo é puxado por um guincho em direção ao asteroide, o qual está sua nave.	Após começar a ser puxado pelo guincho junto com a rocha de gelo, o personagem sugere que “melhor eu saltar antes que me espatife junto com a pedra.”, já que os dois estão movimento, e tendem a continuar esse movimento a menos que uma força externa os pare. A Física abordada é a Mecânica.	
36	Astronauta constrói um equipamento capaz de derreter o gelo e eliminar todas as impurezas, além de disso, ele esse equipamento é capaz de absorver as moléculas de oxigênio.		Nesta cena, temos um processo de mudança de fase da água, indo da fase sólida para a fase líquida, devido ao equipamento construído pelo personagem. A Física abordada é a Termodinâmica e a Física-Química.
37	Astronauta faz com que seu equipamento seja capaz de coletar hidrogênio da água para depois usa-lo	O personagem descreve em sua fala, que pretende usar hidrogênio como combustível para um aquecedor, a partir de um processo físico, da queima deste comburente. A	

**Quadro 1 – Decupagem da História em Quadrinho Astronauta Magnetar (BEYRUTH, 2014)**

Página	Descrição da Cena	Conteúdo Físico expresso de modo verbal	Conteúdo Físico expresso de modo não verbal
	em um aquecedor, como combustível.	Física abordada é a Termodinâmica.	
44	Astronauta em sua nave, sofrendo diversas alucinações e síndromes de perseguição.	Astronauta começar a sentir os efeitos do campo magnético forte do Magnetar, de modo a afetar seu organismo, causando alucinações. A Física abordada é o Eletromagnetismo e a Física Médica.	
53	Astronauta tem um momento de alucinações intensas, onde consegue se comunicar com a figura de seu avô.	O avô fala com o personagem, sugerindo a ele “Seja como a pedra.”, “Chapinhando, lembra?”, “Chapinhando ela vai mais longe.”, “Voando livre, mas sempre reencontrando a superfície.”. Essa possível visão seria para o personagem aproveitar-se da conservação do momento linear de alguma maneira, que o levaria a sair dali. A Física abordada é a Mecânica.	Temos a imagem da pedra chapinhando em um lago, mostrando-se como o momento linear se conserva. A Física abordada é a Mecânica.
62	Astronauta está prestes a abandonar sua nave utilizando o uniforme 33: Titan.	Ao se deparar nessa situação, o personagem faz a seguinte citação: “Esse é o ponto sem retorno, Shackleton, Lovell, Amundsen, Cabral, Leif, Fawcett, Hassanein, todos devem ter sentido o mesmo que eu sinto agora.”. Todas essas personalidades foram importantes astronautas, exploradores e navegadores, que trouxeram grandes contribuições à ciência. Aqui não abordamos a Física diretamente, mas a história por de trás dos grandes avanços científicos da humanidade.	
63, 64 e 65	O Astronauta esta em seu uniforme Titan, abandonando a sua nave. Ele sai		O objetivo do personagem foi o de se comportar como aquela pedra, que seu avô o ensinou a jogar. Astronauta aproveita-se do máximo da conservação do momento linear,

**Quadro 1 – Decupagem da História em Quadrinho Astronauta Magnetar (BEYRUTH, 2014)**

<b>Página</b>	<b>Descrição da Cena</b>	<b>Conteúdo Físico expresso de modo verbal</b>	<b>Conteúdo Físico expresso de modo não verbal</b>
	correndo e salta em direção ao espaço sideral, chapinhando e ricocheteando com diferentes rochas.		tentando ganhar o máximo de velocidade inicial. Ao ricochetar nas rochas, ele consegue manter o momento linear e aumenta-lo, devido aos impulsos tomados, indo dessa maneira mais longe. A Física abordada é a Mecânica.
66	Astronauta é ejetado do uniforme Titan em direção ao espaço sideral.	Astronauta fala que acionou um sinal de resgate, em diferentes frequências. A Física abordada é a Ondulatória.	Nesta cena, o personagem é ejetado, por um sistema de propulsão, semelhante ao de um foguete. A Física abordada é a Mecânica.
68 e 69	Astronauta perdido em meio ao Universo.		Nesta cena, o personagem está em meio ao Universo, em meio às galáxias e estrelas. A Física abordada é a Astrofísica.
74	Astronauta é encontrada por uma nave hospital, em estado de hipotermia.	O personagem ficou perdido em meio ao espaço, que é um local de baixas temperaturas, deste modo, entrou num estado de hipotermia. A Física abordada é a Termodinâmica e a Física Médica.	