

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DILTON LOPES CARAPIÁ

**UTILIZANDO RECURSOS AUDIOVISUAIS COMO MEDIADORES PARA
ENSINAR A TEORIA DO *BIG BANG* À LUZ DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA
CIÊNCIA**

**FEIRA DE SANTANA - BA
AGOSTO - 2016**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

DILTON LOPES CARAPIÁ

**UTILIZANDO RECURSOS AUDIOVISUAIS COMO MEDIADORES PARA
ENSINAR A TEORIA DO *BIG BANG* À LUZ DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA
CIÊNCIA**

Dissertação de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física, na Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS/BA. Pesquisa financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

Área de concentração: Física na Educação Básica

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Indianara Lima Silva

Co-Orientador: Prof. Dr. Rainer Karl Madejsky

**FEIRA DE SANTANA - BA
AGOSTO - 2016**

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

Carapiá, Dilton Lopes

C252u Utilizando recursos audiovisuais como mediadores para ensinar a Teoria do Big Bang à luz da história e filosofia da ciência./ Dilton Lopes Carapiá. Feira de Santana, 2016.
120f.: il.

Orientadora: Indianara Lima Silva

Coorientador: Rainer Karl Madejsky

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2016.

1.Física – Ensino. 2.Ciência – Filosofia. 3.Aprendizagem.
4.Vygotsky, Lev. – Teoria. I.Silva, Indianara Lima, orient.
II.Madejsky, Rainer Karl, co-orient. III.Universidade Estadual de Feira de Santana. IV.Título.

CDU : 524.85

DILTON LOPES CARAPIÁ

Orientadora:

Prof^ª. Dr^ª. Indianara Lima Silva

Co-orientador:

Prof. Dr. Rainer Karl Madejsky

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por

Prof^ª. Dr^ª. Indianara Lima Silva

Prof. Dr. Hugo Saba Pereira Cardoso

Prof. Dr. Elder Sales Teixeira

Prof. Dr. Ernando Silva Pereira

FEIRA DE SANTANA – BA
AGOSTO - 2016

*A minha esposa e amiga, Fernanda Sobral e a
meu filho, principal razão de viver, Raul Sobral
Carapiá.*

Cada um de nós é, na perspectiva cósmica, precioso. Se um ser humano discorda de você, deixe-o viver. Em cem bilhões de galáxias, você não vai encontrar outro.

Carl Sagan

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior (CAPES) pelo financiamento à pesquisa desenvolvida durante o Mestrado.

Agradeço aos professores e colegas do Mestrado Profissional de Ensino de Física da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), pela oportunidade de integrar este programa.

Agradeço a meus orientadores, em especial, a Prof^a. Dr^a. Indianara Lima Silva, pela paciência e, principalmente, por mostrar o caminho para realização dessa conquista.

Agradeço aos queridos amigos e familiares que souberam lidar com minhas ausências durante o desenvolvimento deste trabalho. Aqueles que estiveram por perto ou que, por algum motivo, estão longe; mas sempre torcendo pelo meu sucesso.

À minha família: meu pai (*in memoriam*) que, enquanto vivo, sempre me motivou a estudar e lutar pelos meus sonhos; minha mãe, que esteve sempre do meu lado, dando-me força e muito amor; não poderia deixar de mencionar meu segundo pai, Carlinhos, sempre me presenteando com seu afeto; aos meus irmãos Jair, Alex, Claudia e Daiane; meu sogro Paulo e, principalmente, minha sogra Elisabete Sobral por cuidar de Raul, pelo carinho e pelas boas risadas na companhia de uma boa cerveja puro malte.

Agradeço a minha esposa e companheira de todas as horas, Fernanda Sobral de Moraes pelo amor, paciência e a compreensão desde o processo de seleção incentivando-me a seguir em frente, mesmo quando encontrei os maiores obstáculos; e a meu filho Raul por ter me escolhido como pai.

Finalmente, agradeço ao Cosmos, por ter permitido e proporcionado a oportunidade de viver este momento.

RESUMO

Mesmo com todos os avanços tecnológicos proporcionados pela Ciência nos últimos séculos, ainda, observa-se pouca abordagem de objetos de conhecimento de Física Moderna e Contemporânea (FMC), nas escolas de Ensino Básico. Com intuito de contribuir para uma mudança nesse cenário, produzimos e aplicamos uma Sequência Didática (SD), apoiados na teoria de aprendizagem de Lev Vygotsky, para ensinar a Teoria do *Big Bang* à luz da História e Filosofia da Ciência (HFC). Com utilização de recursos audiovisuais, no processo de mediação, além da contextualização histórica e filosófica, buscamos a motivação necessária para dar significado aos signos a que almejamos internalizar. Assuntos, como o da Relatividade Restrita e Geral (RRG), aparecem como etapas da evolução do pensamento humano e corroboram para as mudanças da forma de ver e interpretar o mundo.

Palavras-chave: Ensino de Física. Sequência Didática. Teoria da Relatividade Restrita e Geral. História e Filosofia da Ciência. Teoria de Aprendizagem de Vygotsky.

ABSTRACT

Even with all the technological advances provided by science in recent centuries, there is still little approach of Modern and Contemporary Physics (MCP) knowledge objects in basic education schools. Aiming at contributing to a change in this scenario, we produce and applied a Didactic Sequence (DS), supported by the learning theory of Lev Vygotsky, to teach the theory of the Big Bang in the light of History and Philosophy of Science (HPC). Using audio-visual resources, in the process of mediation, as well as historical and philosophical contextualization, we seek the motivation needed to give meaning to the signs that we aim to internalize. Topics such as the Special and General Relativity (SGR), appear as stages of the evolution of human thought and corroborate changes in the way of seeing and interpreting the world.

Keywords: Physics Teaching. Didactic sequence. Special and General Theory of Relativity. History and Philosophy of Science. Learning Theory of Vygotsky.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
REVISÃO DE LITERATURA	20
REFERENCIAL TEÓRICO	27
REFERENCIAL DE CONTEÚDO ESPECÍFICO	34
Texto 1: As concepções de Descartes, Newton e Kant sobre o Universo	34
Texto 2: Relatividade Restrita de Einstein	40
Texto 3: Relatividade Geral.....	58
Texto 4: Os caminhos que levaram à Teoria do <i>Big Bang</i>	63
METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	71
SEQUÊNCIA DIDÁTICA	74
Cronograma de aulas	75
Avaliação	89
RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
REFERÊNCIAS	108
GLOSSÁRIO	111
ANEXO A: TCLE – Termo de consentimento livre e esclarecido.....	114
ANEXO B: Espectro de linhas: análise espectral	117

INTRODUÇÃO

Minha trajetória, como professor de Física do Ensino Médio, começou no ano de 2005, antes da conclusão da graduação que só veio ocorrer em 2009 pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). A decisão de ingressar no curso de Licenciatura em Física da UFBA, no primeiro semestre de 2002, não se deu por aptidão, mas pelo fato de ser um curso ministrado no período noturno, única possibilidade de um aluno trabalhador frequentar. Entretanto, o contato com alguns mestres do Instituto de Física dessa instituição, especialmente, no decorrer dos componentes curriculares de Física Básica, sob a responsabilidade dos Profs. Drs. Olival Freire Jr. e José Fernando Moura Rocha, despertou-me o fascínio e conclui que havia escolhido corretamente.

Durante minha graduação, 2002-2009, lecionei a disciplina Física em algumas instituições, em cursos pré-vestibulares, que, dentro do possível, ajudaram bastante no aperfeiçoamento da metodologia de ensino. Foi justamente neste período, nos colégios Presidente Kennedy e Impacto, ambos da rede particular de ensino, que minhas inquietações acerca do ensino desse componente curricular começaram. Ao trabalhar com o conteúdo da 1ª série do Ensino Médio; notei, inicialmente, a discrepância entre o programa da disciplina e a contextualização no cotidiano dos discentes. Assim, para tentar contribuir com a realidade escolar no que se refere a ensino-aprendizagem, utilizei música e desenhos animados como estratégias lúdicas para correlacionar situações do mundo real. Nessa perspectiva, os desenhos animados serviram de inspiração para a elaboração do meu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Sob o título “A Física nos desenhos animados”, desenvolvi uma proposta voltada para a possibilidade de repensar e refletir a Ciência de uma maneira acadêmica, mas acessível; assim como, promover outra visão sobre as Leis da Física de uma forma divertida, interativa e, na medida do possível, inovadora.

A fim de acompanhar os avanços tecnológicos ocorridos nas últimas décadas e suas implicações históricas, sociais e culturais; buscamos uma intervenção pedagógica alternativa. Ensino de Física, voltado meramente para memorização de fórmulas e equações matemáticas, reprime certas discussões que poderiam tornar-se frutíferas; entretanto, transformam a sala de aula em um ambiente monótono e desagradável. Motivado por essas inquietações e, ao perceber a necessidade de maior capacitação para atender aos meus questionamentos e insatisfações profissionais, resolvi inscrever-me no processo seletivo de Mestrado Profissional de Ensino de Física, Polo Universidade

Estadual de Feira de Santana (UEFS), onde fui aprovado na primeira turma do Polo e iniciei minhas pesquisas que culminaram nesse trabalho final.

Nesse sentido, recorreremos às contribuições de Lucia Helena Sasseron e Anna Maria Pessoa de Carvalho (2010), ao afirmarem que:

[...] nos dias atuais, considerar o ensino mais do que apenas o trabalho com conceitos e ideias científicas: a escola precisa também ensinar os alunos a perceber os fenômenos da natureza e a examiná-los na busca por explicações, tornando-os capazes de construir suas próprias hipóteses, elaborar suas próprias ideias, organizando-as de modo a construir conhecimento (p. 107).

No mundo moderno, os conhecimentos científicos são utilizados cada vez mais. As novas tecnologias invadem os lares, a partir de aparelhos eletrônicos simples, ou altamente sofisticados. Atualmente, verificamos avanços nas mais diversas áreas, como por exemplo, na medicina com exames e diagnósticos mais sofisticados; no agronegócio com sistemas de irrigação automatizada e máquinas que realizam múltiplas funções; e, ainda, nas telecomunicações aonde as informações chegam quase em tempo real e o acesso cresce junto com a expansão da rede. No entanto, na contramão do crescimento do interesse pelas novas tecnologias, observamos a cada dia o aumento do desinteresse dos jovens pelo estudo das Ciências Naturais, principalmente da Física. Diante dessa problemática, como aumentar o interesse desses jovens pela disciplina em tempos modernos, se os conteúdos trabalhados em sala estão descontextualizados com os avanços da Ciência?

A nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), promulgada em 1996, trouxe recomendações que corroboraram para possíveis modificações no sistema educacional brasileiro. As sugestões, para o Ensino Médio, evidenciam a preocupação com a formação do indivíduo, a capacidade de desenvolver habilidades e competências que promova a atuação na sociedade contemporânea. Ou seja, segundo Sasseron (2010),

não basta mais que os alunos saibam apenas certos conteúdos escolares; é preciso formá-los para que sejam capazes de conhecer esses conteúdos, reconhecê-los em seu cotidiano, construir novos conhecimentos a partir de sua vivência e utilizá-los em situações com as quais possam se defrontar ao longo de sua vida (p. 5).

É preciso desenvolver o espírito crítico investigativo, oferecer espaços para discussões e investigação, incentivar a participação dos alunos e envolvê-los no complexo

processo de formação. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e, mais recentemente, as Orientações Curriculares Nacionais Complementares (PCN+) visam nortear as instituições de ensino na elaboração dos seus projetos político-pedagógico e evidenciar a necessidade de uma cultura de formação continuada por parte de todos os envolvidos com a educação. Sugerem, ainda, um conjunto de temas e unidades temáticas, articulados às competências e conteúdos que solicitam novas práticas pedagógicas. Para, além disso, enfatizam a importância da interdisciplinaridade e da contextualização na construção das bases curriculares. Contudo, não basta uma mera justaposição de várias disciplinas para atingir a competência crítico-analítica dos discentes. “Trata-se da construção de um novo saber a respeito da realidade, recorrendo-se aos saberes disciplinares e explorando ao máximo os limites e as potencialidades de cada área do conhecimento” (PCNs, 2007, p. 52). Com relação ao ensino de Física no Ensino Médio, espera-se que:

contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas*. É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional (p. 22).

É possível observar, também, nessas orientações curriculares, sinalizações para a importância da discussão de alguns aspectos da Física Moderna e Contemporânea (FMC). Dentre os potenciais tópicos, os PCNs (2007) destacam a importância de uma maior compreensão humana sobre o Universo. Nesse sentido,

a possibilidade de um efetivo aprendizado de Cosmologia depende do desenvolvimento da teoria da gravitação, assim como de noções sobre a constituição elementar da matéria e energética estelar. Essas e outras necessárias atualizações dos conteúdos apontam para uma ênfase à Física contemporânea ao longo de todo o curso, em cada tópico, como um desdobramento de outros conhecimentos e não necessariamente como um tópico a mais no fim do curso. Seria interessante que o estudo da Física no Ensino Médio fosse finalizado com uma discussão de temas que permitissem sínteses abrangentes dos conteúdos trabalhados. Haveria, assim, também, espaço para que fossem sistematizadas ideias gerais sobre o universo, buscando-se uma visão cosmológica atualizada (p. 26).

Essa tendência também aparece nos PCNs+, no 6º tema estruturador de competências e conteúdos (Universo, Terra e Vida). As temáticas propostas – Universo, sua origem e a compreensão humana – parecem-nos possíveis entradas para inserção da FMC no Ensino Médio (EM), pelo fato de remeter-nos a vários questionamentos de natureza científica ou mística de questões que envolvem a capacidade humana de questionar a própria existência. Além disso, sendo a Cosmologia (C), enquanto Ciência, uma consequência natural da Teoria da Relatividade Geral (TRG), suas possibilidades de abordagem, tornam-se estratégias pedagógicas interessantes para a introdução de FMC no EM.

O tema da origem do Universo chama-nos a atenção, pois, torna-se facilitador para expor conteúdos atuais da Ciência, uma vez que se trata de um assunto que sempre inquietou nossa espécie. Desde que o ser humano olhou ao seu redor, questionou e observou o céu, na tentativa de compreendê-lo, a partir dessa perspectiva, desenvolveu-se Ciência, cultura e técnica. Porém, mesmo antes de buscar respostas que fossem lógicas e harmônicas, a necessidade de sobrevivência e de sentido da própria existência, levou-nos ao misticismo e/ou à religiosidade. Mitos da criação do Universo estão registrados em diversas culturas ao longo da história, tanto em sociedades monoteístas ou politeístas. Mas, não eram, somente, as questões religiosas e míticas que afluíam da contemplação dos céus, necessidades humanas como a medida do tempo, por exemplo, era algo crucial. Saber, exatamente, quando começava e terminava o inverno era uma questão de sobrevivência para as civilizações primitivas. Nasce, então, a primeira das ciências: a Astronomia.

A Cosmologia, nesse período, encarregava-se de questões místicas e mitológicas. As mudanças de concepções sobre o Cosmos demoraram muito tempo para ocorrerem. Vários personagens colaboraram e, certamente, contribuíram para o acirramento, mesmo que involuntariamente, dos conflitos entre Ciência e religião. Discussões sobre a origem do Universo, nas escolas, trazem, muitas vezes, desconfortos até os dias de hoje, mas esse é o papel da escola: promover a aprendizagem dos conceitos científicos, com o objetivo de contribuir para formação de uma sociedade mais crítica e menos fundamentalista.

A formação do Universo, suas distâncias surreais, dilatação do tempo, contração do espaço, distorções do espaço-tempo, buraco negro, buraco de minhoca, matéria escura, energia escura e Teoria do *Big Bang* são termos que chegam aos discentes por meio de desenhos animados, documentários e filmes de ficção, os quais os aproximam da

imensidão do Cosmos e mexem com o imaginário. Trata-se de temas que aguçam a curiosidade humana, principalmente a dos jovens, e envolvem o ensino de Ciências, mas que muitas vezes não aparecem em sala de aula; e, quando aparecem, são abordados, rapidamente, para não atrasar o planejamento engessado ou, simplesmente, são reprimidos pelos docentes por não dominarem o assunto ou porque não se sentem capazes de mediar uma discussão como essas. Então, qual seria a melhor maneira de abordar essa temática?

Uma estratégia interessante é a utilização de recursos audiovisuais e, assim, trazer para a zona de desenvolvimento proximal dos estudantes do Ensino Médio conceitos de FMC. Mas, toda ferramenta de aprendizagem, como o uso de filmes, documentários, desenhos ou de uma simulação multimídia, deve ter função bem definida no planejamento de ensino elaborado pelo professor. A escolha dos materiais instrucionais e o momento exato da inserção desses materiais no curso requerem do professor habilidade e capacitação técnica, para que os instrumentos e signos utilizados durante o processo de ensino aprendizagem possam ser significantes para o que se deseja ensinar. Mas, qual a melhor forma de utilizá-los? Qual o papel desses recursos no processo de aprendizagem? Segundo José Moran (1995):

o vídeo ajuda a um bom professor, atrai os alunos, mas não modifica substancialmente a relação pedagógica. Aproxima a sala de aula do cotidiano, das linguagens de aprendizagem e comunicação da sociedade urbana, mas também introduz novas questões no processo educacional (p. 27).

Paulo Rosa (2000) salienta o papel medular realizado pela cultura ao se fazer uso de recursos audiovisuais na sala de aula. Segundo ele, uma obra audiovisual é uma produção cultural, com signos próprios que são compartilhados entre os autores da produção e do público para qual ele foi produzido;

ao usarmos uma película, por exemplo, em um contexto completamente diferente, devemos nos perguntar primeiro se é possível que aquela codificação que foi feita e que deverá ser desconstruída pelos alunos para, em seguida, via um processo de composição cognitiva, ser reconstruída em função de símbolos atinentes àqueles alunos para os quais passamos o filme, comporta elementos culturais comuns ao produtor e o consumidor (p. 36).

A consequência dessas inquietações reflete-se no cerne do nosso trabalho de pesquisa: Como ensinar a Teoria do *Big Bang* (TBB), dentro de uma perspectiva de História e Filosofia da Ciência, utilizando recursos audiovisuais como mediadores em uma turma de 3ª ano do Ensino Médio?

A escolha pela TBB, como tema gerador de ensino de FMC, reforça instruções do Ministério da Educação (MEC). O documento divulgado, recentemente, busca sistematizar o que é ensinado nas instituições em todo Brasil. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), por sua vez, é um movimento que visa orientar a criação de um currículo comum para a educação básica brasileira. Esse documento engloba todas as fases da educação básica, sem desprezar características metodológicas, sociais e regionais de cada uma. Trata-se de uma lista de objetos de aprendizagem de cada uma das fases da formação do indivíduo nas áreas de Linguagens, Matemática, Ciência da Natureza e Ciências Humanas.

No que tange ao ensino da Ciência da Natureza, a BNCC orienta a elaboração de propostas de intervenção didática que apresentem a Física como resultado de uma construção humana; considera a história progressiva e presente, em suas diferentes perspectivas, como via para percepção de um produto social. “O conhecimento proporcionado pela Física é social e que traz implicações de natureza política, econômica e, também, ética” (Brasil, 2015, p.205). Para o componente curricular, o documento oficial propõe seis Unidades do Conhecimento da Física (UCF) a fim de organizar os currículos do Ensino Médio.

Na sexta unidade (Terra, Universo e vida), está proposta a apresentação dos conhecimentos da Física de maneira que contribua com a elucidação de perguntas do tipo: Qual a idade do Universo? Qual o tamanho do Universo? O que existe no Universo? Se houve uma gênese, como ocorreu? Como nascem e morrem as estrelas? Quem somos nós e onde nos situamos no Universo conhecido? Existe vida fora da Terra?

A BNCC (2015) ressalta que questões, elencadas nesta unidade, devem ter como principal referência de fundamentação o modelo cosmológico do *Big Bang*. A utilização dessa temática, reforçada pelos objetos de aprendizagem, deve ser trabalhada na sexta UCF. Nesse sentido, a BNCC destaca que, dentre outros conhecimentos conceituais, os discentes precisam ser capacitados “para compreender o modelo padrão do *Big Bang* para formação do Universo, localizando e descrevendo os principais eventos espaço-temporais que o caracterizam identificando algumas lacunas desse modelo” (Brasil, 2015, p.219).

O documento oficial destaca a importância da contextualização histórica e sociocultural na abordagem de tópicos de Cosmologia. Essa preocupação evidencia-se, no instrumento curricular, ao identificar, como objeto de aprendizagem, a necessidade do reconhecimento da existência de modelos explicativos da origem e constituição do Universo, baseado nas diversas épocas e culturas, assinalando diferenças e semelhanças em suas formulações. Nessa perspectiva, destacamos a importância de instrumentalizar os docentes para uma abordagem contextualizada de UCF, pois os livros didáticos, em sua maioria, propõem tratamento tradicional dos objetos de aprendizagem; assuntos como Cosmologia e TBB sequer aparecem como proposta de leitura complementar. Nossa argumentação é respaldada a partir da análise dos livros listados abaixo:

- *Compreendendo a Física* (vol.3), de Alberto Gaspar, publicado em 2013, não é feita nenhuma abordagem sobre tópicos de Cosmologia e ou Teoria do *Big Bang*.

- *Os Fundamentos da Física* (vol.3), de Francisco Ramalho Jr., Nicolau G. Ferraro e Paulo A. de Toledo, publicado em 2015, no capítulo 20 “Energia Nuclear”, na seção 20.5, mais especificamente, na página 488, os autores destacam o processo de vida e morte de uma estrela. Em uma abordagem informativa e sem contextualização, explanam as fases de uma estrela de acordo com sua massa, comentam sobre o buraco negro, singularidade e horizonte de eventos; mas sem muitos detalhes. Nenhuma seção do livro é reservada para tratar da Teoria do *Big Bang*, ou qualquer outro modelo cosmológico.

- *Tópicos de Física* (vol.3), de Gualter J. Biscuola, Newton V. Bôas e Ricardo Helou Doca, publicado em 2011, no capítulo “Noções de Física Quântica”, na página 350, dentro do objeto de aprendizagem análise espectral, aborda-se a proposta de Edwin Hubble de um Universo em expansão, a partir da observação do deslocamento para o vermelho, das linhas espectrais de elementos químicos identificados, na luz emitida pelas galáxias. Os autores trazem, também, uma analogia do “universo panetone”, utilizada para ilustrar que qualquer referencial no Cosmos observa o afastamento das galáxias; e, desse modo, desconstrói a ideia, historicamente compartilhada em diversas culturas, de que estamos no centro do Universo. Na página seguinte, o livro aborda a Lei de Hubble e salienta que Edwin Hubble mediu os valores das velocidades relativas de afastamento entre diversas galáxias e a Terra; utilizou como parâmetro o brilho dessas galáxias e estimou as distâncias entre elas e nosso planeta. Entretanto, em nenhum momento há qualquer tipo de contextualização de como esse processo de medição de distância foi estabelecido e/ou por quem foi proposto. Os autores fazem uma brevíssima menção à

Teoria do *Big Bang* (p.353), ao abordar a hipótese de unificação das forças fundamentais da natureza, durante os primeiros instantes pós-*Big Bang*.

- *Física Clássica* (v.3), de Caio Sérgio Calçada e José Luiz Sampaio, publicado em 2012. Nesta obra encontramos, no capítulo 22 “Partículas Elementares e Física Nuclear”, na página 480, o subcapítulo intitulado “O *Big Bang*”. O texto proposto pelos autores faz uma rápida abordagem da evolução temporal do Universo, destaca a verificação feita por Edwin Hubble do afastamento das galáxias e deixa implícito que essa constatação, por si só, já é suficiente para validar a Teoria do *Big Bang*. Em outra passagem do texto, a ideia equivocada de que, no estágio inicial de extrema densidade de matéria-energia do Universo, reunida em um volume muito pequeno, ocorreu uma “grande explosão”. Consideramos relevante que os livros relatem que a denominação *Big Bang* foi atribuída à teoria que versava sobre a hipótese de uma duração finita do Universo, até o momento atual, como um sinal de escárnio, pelo astrônomo Fred Hoyle, um dos idealizadores do modelo cosmológico do Estado Estacionário. Os autores finalizam a interpelação sobre o fenômeno com a Lei de Hubble e destacam que, a partir desta lei, é possível estimar o tempo decorrido desde o estado de altíssima densidade de matéria-energia até os dias de hoje.

Dois livros destacam-se em nossa pesquisa; o primeiro foi *Física Conceitos e Contextos* (v.1), publicado em 2013, de Maurício Pietrocolla, Alexander Pogibin, Renata de Andrade e Talita Raquel Romero, o qual propõe, no capítulo introdutório, o estudo sobre as explicações de algumas culturas antigas a respeito da origem e evolução do Universo. Baseado em uma abordagem histórica, social e cultural; o autor descreve, de maneira contextualizada, a visão cosmológica de algumas civilizações. No final do capítulo, o pesquisador trata da Teoria do *Big Bang* e associa, corretamente, este modelo a uma grande expansão geradora do Universo que inclui espaço e tempo, e não, simplesmente, uma grande explosão. Pietrocolla et al. (2013) destaca os trabalhos sobre a nucleossíntese primordial de George Gamow e a verificação da radiação cósmica de fundo, realizada por Arno Penzias e Robert Wilson. Por fim, explicita os três pilares da Teoria do *Big Bang*: a expansão do Universo; a nucleossíntese e a consequente abundância de elementos leves e a detecção da radiação cósmica de fundo.

Já no terceiro volume, Pietrocolla et al. (2013) não traz um capítulo específico que aborde Cosmologia. Observamos uma discussão sobre esta temática no capítulo 9, ao qual dedica o estudo à espectroscopia. Ao abordar a série de Balmer, o autor menciona o trabalho de catalogação de mais de 225 mil estrelas feita pela equipe do astrônomo norte-

americano Edward Charles Pickering. No livro, destaca-se o trabalho que proporcionou a descoberta da relação das linhas espectrais com a temperatura superficial das estrelas. Contudo, o autor não faz nenhum comentário sobre os desdobramentos dessa catalogação, no que se refere à determinação das distâncias das estrelas observadas, da importância do desenvolvimento dessa nova técnica para a exploração de novas galáxias e, principalmente, na constatação da expansão do Universo. Pietrocolla et al. (2013) menciona as conclusões de Hubble a respeito da relação direta entre a velocidade de afastamento dos astros e a distância em que se encontram. Além de destacar o fato de essa descoberta ter sido fundamental para a Teoria do *Big Bang*, desenvolvida por George Gamow, em 1948.

O outro livro é *Física Viva- Uma introdução à Física Conceitual (vol.3)*, elaborado por James Terfil e Robert M. Hazen, os quais dedicam um capítulo ao objeto de aprendizagem Cosmologia, dividido em subtemas. Os autores fazem uma abordagem contextualizada, elencam as contribuições de alguns personagens que corroboraram com a Teoria do *Big Bang*. Dentre os personagens, a obra destaca a astrônoma norte-americana Henrietta Swan Leavitt, responsável pelo desenvolvimento de um método para determinar a distância das estrelas até nós. Essa técnica passou a ser uma excelente ferramenta para a determinação das distâncias astronômicas.

Outra contribuição que ganha destaque, no capítulo 29, é a observação de Edwin Hubble e a constatação da expansão do Universo. Os autores assinalam a Lei de Hubble e a possibilidade de determinação da idade do Cosmo a partir desta. Gráficos e analogias são utilizados no livro *Física Viva- Uma introdução a Física Conceitual (vol.3)*. Noutro subcapítulo, destacam-se as evidências que fizeram do *Big Bang* a teoria mais aceita pela comunidade científica, com ênfase na detecção da radiação cósmica de fundo, constatada por Arno Penzias e Robert Wilson. No capítulo dedicado ao estudo da Cosmologia, ainda é apresentada uma análise cronológica da evolução do Universo e a discussão sobre matéria e energia escuras. Vale ressaltar a preocupação dos autores em não reforçar a ideia equivocada de “grande explosão”, na fase inicial do Universo. Desse modo, finaliza o capítulo com um resumo dos pontos mais importantes, questões de revisão, perguntas, problemas e uma série de sites para ampliação da pesquisa sobre Cosmologia. O livro, como um todo, tem uma proposta de contextualização e de enfoque conceitual muito boa; contudo, não é adotado pelas instituições de ensino e/ou pelos professores da disciplina.

A breve análise dos livros didáticos, sobre a temática Cosmologia e/ou Teoria do *Big Bang*, permite-nos afirmar que, por mais que documentos oficiais do MEC e trabalhos

de pesquisadores da área de ensino de Ciências orientem a instrução destes objetos de aprendizagem, os materiais de suporte didático ou não abordam essa temática, ou o fazem de maneira extremamente superficial, com exceção do livro *Física Viva* (Terfil; Hazen, 2006), que dedica um capítulo à Cosmologia. Torna-se evidente, diante dos fatos apresentados, a necessidade de propostas de intervenção didática e produção de material de apoio que tratem de questões a respeito da origem do Universo, tanto para professores como para alunos.

Observamos, então, a relevância deste trabalho, que pretende, a partir da abordagem de História e Filosofia da Ciência (HFC), demonstrar como as intervenções humanas contribuem para com a formulação da Teoria do *Big Bang*. No desenvolvimento de nossa mediação abordamos: a visão de Universo de René Descartes, Isaac Newton e Immanuel Kant; a Teoria da Relatividade Restrita e Geral; o protagonismo da Relatividade Geral para o desenvolvimento da Cosmologia; as evidências que corroboraram com a maior aceitação da Teoria do *Big Bang* e, ainda, os novos paradigmas da Cosmologia, ao tratarmos das hipóteses da matéria e energia escuras. Nessa perspectiva, produzimos um material de apoio para o aluno, que pode ser utilizado por professores que pretendam trabalhar essa temática no Ensino Médio. A pesquisa foi aplicada no Instituto de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia (IFBA), Campos de Salvador, localizado no Bairro do Barbalho, em uma turma do 3º ano do Ensino técnico/integrado, em Mecânica. Na oportunidade, ministramos uma Sequência Didática (SD), em parte da IV unidade do ano letivo de 2015, a fim de analisar a eficiência da proposta de intervenção. O Produto Educacional concebido e aplicado, resultado direto deste Mestrado Profissional, está descrito, nos capítulos que seguem.

Por fim, nosso trabalho tem por objetivo contribuir, a partir de uma proposta pautada na HFC e à luz da teoria sociointeracionista de Lev Vygotsky, para uma maior reflexão e inserção da FMC no EM. O trabalho propõe uma análise de como a concepção de Universo foi modificada ao longo da história e como essas mudanças influenciam nossa percepção de mundo. Para isso, utilizamos séries de TV, filmes e vídeos do *Youtube*, a fim de contribuir para o entendimento do tema proposto. A nossa Sequência Didática (SD) organiza a apresentação dos vídeos e estabelece os momentos de mediação do professor nos debates que são gerados durante a aplicação do trabalho. Utilizamos ainda, apresentação de *slides*, para facilitar as mediações, além de textos de apoio para aprofundamento do tema proposto.

REVISÃO DE LITERATURA

Para respaldar nossa proposta, faremos uma revisão de literatura sobre as intervenções didáticas de Física Moderna Contemporânea (FMC), além da utilização de História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino de Física como possíveis estratégias para abordagem do tema. Conforme Ostermann e Moreira (2000), pesquisadores – Alvetti e Delizoicov, 1998; Terrazzan, 1994; Pereira, 1997; Camargo, 1996; Paulo, 1997 – têm sugerido três vertentes para inclusão de FMC em sala de aula.

A primeira vertente assinala a importância do caráter não linear do desenvolvimento da Ciência, além de abordar às dificuldades que originaram a crise da Física Clássica e as profundas diferenças conceituais que contrapõem à Física Moderna. Segundo pesquisadores, abordagens simplistas, em sala de aula, favorecem a construção de concepções alternativas. Em uma intervenção didático-metodológica, estudiosos, a partir de uma proposta construtivista, propuseram uma série de atividades com 180 alunos entre 16 e 18 anos. Na pesquisa de Ostermann e Moreira (2000), utilizou-se a concepção da Física Clássica, baseada em conhecimentos que conseguem explicar quase todos os fenômenos conhecidos no século XIX, falhos em poucos casos. Segundo Daniel Gil et al. (apud OSTERMAN; MOREIRA, 2000), durante a proposta houve discussão e enumeração de problemas não resolvidos, obtendo resultados satisfatórios.

Na segunda tendência, estudiosos criticaram o uso de analogias clássicas no ensino da FMC. Em uma proposta de intervenção didática aplicada em 11 cursos secundários de Física, em Berlim, pesquisadores, evitaram a realização de referências a Física Clássica e ao modelo de Niels Bohr para o átomo de hidrogênio, chegou-se, segundo eles, a resultados satisfatórios. Já na terceira linha, pesquisadores propõe a abordagem de poucos conceitos de Física Moderna como, por exemplo, a respeito dos fótons e elétrons, contrapôs-se aos estudiosos que defendiam o uso de alguns conceitos de Física Clássica como pré-requisitos para abordagem de tópicos da FMC.

Quanto às concepções alternativas sobre FMC, o artigo, de Fernanda Osterman e Antônio Moreira (2000), destaca que até o período da realização da pesquisa, existiam poucos trabalhos sobre o tema, e que, de maneira geral, os estudiosos atribuem o surgimento dessas concepções aos erros conceituais dos livros-texto e de informações veiculadas pela mídia. No tópico “Temas de FMC apresentados na literatura como divulgação científica ou como bibliografia de consulta para professores e alunos”, os autores exaltam a importância da produção de materiais de suporte sobre temas de FMC;

porém, ressaltam que alguns trabalhos são muito densos e de difícil compreensão por parte dos professores de Ensino Médio e pesquisadores. Assinalam, ainda, a predominância simplificada de tópicos de FMC e da necessidade de mais literaturas sobre aprendizagem dos mesmos aplicados em sala de aula.

Baseados em Osterman e Moreira (2000), onze trabalhos tratam de propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem, mais de 80% foram direcionados para Física Quântica (FQ). Há consenso de que é possível levar conteúdos de FMC para o Ensino Médio; contudo, não existe, aparentemente, nada em relação à importância do estudo da Física Clássica para o entendimento de conceitos quânticos. Em nenhuma das propostas há a menção da Relatividade Geral, origem do Universo ou Teoria do *Big Bang*. Vale destacar, também, a quase inexistência de propostas de intervenção didática pautada na HFC.

Também foram analisados, por Osterman e Moreira (2000), alguns livros-didáticos de Física para o Ensino Médio, com o objetivo de verificar a abordagem de FMC utilizada por seus autores. Beatriz Alvarenga e Antônio Máximo (1997), ao final de alguns capítulos na seção denominada "Tópicos Especiais", trazem algumas abordagens de FMC em uma linguagem simples, pouca matemática e textos com boa redação e com rigor do ponto de vista científico. No livro de volume único de Ugo Amaldi (1995), comparado a outras literaturas brasileiras, destaca-se o fato de que valoriza conceitos físicos, em detrimento de uma visão excessivamente matemática, apresenta tópicos da Física de ponta que normalmente são negligenciados nos programas de Ensino Médio como a Relatividade Restrita e a Mecânica Quântica. Mas, nenhum livro-didático nacional ou internacional pesquisado traz mais tópicos de FMC que o adotado para última série do ensino médio na França: *O Physique* (1995), de Durandeu et al., o qual aborda a Relatividade Restrita, efeito foto-elétrico, efeito Compton, dualidade onda-partícula, o funcionamento do acelerador de partículas, estrutura da matéria, *Big Bang*, espectroscopia e Astrofísica.

Compactuamos com Osterman e Moreira (2000) em relação aos argumentos que justificam a atualização do currículo de Física do Ensino Médio, no intuito de inserir tópicos de FMC, além da ênfase dada à necessidade de mais pesquisas voltadas ao professor de Física, responsável pelo processo de ensino. Concordamos, também, que existem grandes desafios para que ocorra uma satisfatória transposição didática dos tópicos de FMC no Ensino Médio, os quais envolvem o professor e sua formação. Em uma lista de possíveis temas a serem abordados para o ensino de FMC, mencionada por

Osterman e Moreira (2000), encontramos Origem do Universo e Teoria do *Big Bang*, objetos desta pesquisa.

Em pesquisa mais recente a respeito da FQ no Ensino Médio, André Silva e Maria Almeida (2011), após analisarem 16 propostas, reforçam as muitas justificativas para o ensino de tal componente curricular. Torna-se importante a formação do professor do EM e o protagonismo para o sucesso da mediação de assuntos. Mesmo após 10 anos de revisão realizada por Osterman e Moreira (2000), questões como usar ou não a Física Clássica para abordar FQ continuam atuais, segundo Silva e Almeida (2011). Os estudiosos assinalam certo consenso que ampara a pesquisa que deve privilegiar abordagens qualitativas, conceituais, filosóficas e culturais; em detrimento de um enfoque que priorize o cálculo.

Compactuamos com a estratégia pedagógica proposta por Silva e Almeida (2011), uma vez que corrobora no processo de desconstrução de uma visão simplista da Ciência. Além disso, favorece melhor compreensão dos modelos que tentam explicar a realidade, transpõem limites, imprecisões e mostram que a evolução é fruto da capacidade humana de inferir sobre a própria existência.

Respaldados em aporte teórico específico, fizemos uma revisão de literatura a respeito do uso didático de HFC no Ensino de Física. Para tanto, utilizamos, como principal referência, a revisão de literatura realizada por Elder Teixeira et. al. (2012) sobre as pesquisas que investigam intervenções didáticas orientadas por HFC em sala de aula de Física, publicadas nas principais revistas brasileiras de ensino de Ciências e ensino de Física.

A metodologia utilizada pelos autores dessa revisão baseou-se no acesso aos sites das publicações, onde foram encontrados 160 trabalhos relacionados com o tema da pesquisa desde a década de 1980 até meados do ano de 2011. O resultado dessa pesquisa revela crescimento significativo no número de artigos científicos sobre HFC e o Ensino de Ciências a partir da década de 90. Segundo Michael Matthews (1992), o aumento da produção acadêmica deve-se ao fato de educadores e pesquisadores, da área de ensino, perceberem a crise geral no ensino de Ciências, no final da década de 80. A inquietação gerou uma série de Conferências, nesse período nos Estados Unidos e na Europa, sobre HFC nos componentes curriculares de Ciência, além de reformas pedagógicas com a inclusão de HFC e criação de programas de formação de professores com o mesmo objetivo. Essa movimentação internacional repercutiu no Brasil, organizaram-se simpósios, encontros, congressos e reuniões (CARVALHO; VANNUCCHI, 1996 apud

Teixeira et al.,2012), além de elaboração de revistas especializadas em Ensino de Ciências e de programas de pós- graduação (FREIRE JR.; TENÓRIO, 2001 apud Teixeira et al.,2012).

Todos os trabalhos foram submetidos a três critérios de exclusão: primeiramente, revistas que tratavam de HFC de outra especificidade de ciências que não fosse Ensino de Física; segundo, artigos de natureza teórica, sem aplicação didática; e, em terceiro lugar, tratasse de aplicações em geral como produção, uso análise de materiais didáticos, mas sem relatos de resultados de aplicação didática em sala de aula. Depois de aplicados tais critérios, restaram 14 artigos que traziam pesquisas de investigações didáticas da utilização de HFC no ensino de Física, na sala de aula, ou seja, menos de 10% do total de trabalhos analisados atendem ao determinado, o que comprova a baixa produção de artigos com esse viés (TEIXEIRA et al., 2012).

Devemos destacar, também, o fato de que a maioria dos 14 artigos está direcionada para a abordagem de Física Clássica (dez sobre Mecânica Clássica e um sobre campos elétricos e magnéticos) e apenas um trabalho abordou FMC, especificamente, a Relatividade Restrita. Essa predominância de trabalhos sobre Física Clássica também se verifica, internacionalmente, segundo estudo realizado por Teixeira et al. (2012), demonstrando, que mesmo com o movimento que ocorreu, principalmente, a partir da década de 1980 para inclusão da Física Moderna no ensino, parece ter havido pouca repercussão na pesquisa de HFC no Ensino de Física (TEIXEIRA et al., 2012, p. 26). Outra questão relevante dessa pesquisa para o nosso trabalho é o pequeno número de trabalhos direcionados para o Ensino Médio (um no Fundamental e quatro no Ensino Médio), diferentemente, do cenário internacional, onde a maioria das pesquisas é direcionada ao Ensino Médio.

Os 14 trabalhos selecionados usam HFC no Ensino de Física a partir de textos de narrativas históricas e, em alguns casos, textos originais. Houve produções que, além dos textos históricos, utilizou-se de outras estratégias pedagógicas como histórias em quadrinhos e atividades experimentais de baixo custo que reproduzem experimentos. Uma questão de extrema relevância refere-se ao fato de que só metade dos trabalhos apresentou referencial de aprendizagem, ao qual a pesquisa fundamentou-se. A aprendizagem significativa, de David Ausubel, e a perspectiva sociointeracionista, de Lev Vygotsky, foram empregadas na fundamentação de algumas pesquisas. Notamos, também, que só metade das composições faz uso de Filosofia da Ciência (FC),

identificamos uma possível dificuldade de apresentar os conceitos de forma epistemológica.

Apenas seis trabalhos analisam concepções prévias de HFC e expõem levantamentos sobre conhecimentos espontâneos dos alunos, relacionados ao conhecimento de Física. Segundo Elder Teixeira et al. (2012), do ponto de vista metodológico, é notória a importância de identificar os saberes anteriores dos aprendizes, quando se pretende investigar os resultados de uma determinada interpelação didática. Portanto, pode representar um comedimento quanto à abrangência dos efeitos das pesquisas que não fizeram tais auditorias. Ressaltam, ainda, qualidade da redação dos trabalhos; no entanto, salientam que, em comparação às produções internacionais, os brasileiros demonstram deficiências metodológicas, como por exemplo, detalhamento e adequação de técnicas na coleta de dados, discussão das limitações do trabalho, dentre outros.

Em síntese, Teixeira et al. (2012, p. 28) detectaram cinco objetivos a serem alcançados com a utilização da HFC no Ensino de Física, a partir da análise dos artigos selecionados:

- Melhorar a compreensão de conceitos;
- Melhorar a visão dos alunos sobre a natureza da Ciência;
- Melhorar a qualidade da argumentação dos alunos;
- Melhorar as capacidades meta-cognitivas dos alunos;
- Avaliar a receptividade dos alunos quanto ao uso de HFC nas aulas, bem como ao próprio material didático empregado na abordagem.

Os pesquisadores objetivam avaliar se houve, ou não, alteração na compreensão dos conceitos envolvidos em suas propostas de intervenção; apoiados em uma metodologia de HFC. De um modo geral, segundo os responsáveis pelas intervenções, os resultados foram positivos. Contudo, Teixeira et al. (2012) alertam para existência de limitações no que diz respeito aos efeitos positivos do uso de HFC na aprendizagem dos conceitos. Os autores minimizam a incerteza da eficiência proposta em HFC para que ocorra mudança conceitual ao afirmar que nenhuma abordagem de ensino pode, em princípio, garantir que tal modificação seja efetivada.

Janete Köhnlein, juntamente, com Luiz Peduzzi (2005) e Antônio Moreira et al. (2001)¹ investigaram a compreensão da Natureza da Ciência a partir de uma proposta de HFC. Os resultados destas investigações foram considerados satisfatórios, mas ressaltam certa resistência à mudança relacionada a certas concepções sobre a Ciência. Segundo Teixeira et. al. (2012), esse comportamento não é novidade, conforme a vasta literatura a cerca de concepções da natureza da Ciência. Porém, no cenário internacional existe certo consenso da eficiência deste tipo de abordagem para produzir um amadurecimento dessas concepções.

O trabalho de Teixeira et al. (2012) objetivou investigar a modificação na argumentação dos alunos a partir da HFC. Os resultados assinalam que o uso de HFC contribuiu para uma construção de uma arguição coletiva satisfatória, mas com certas limitações. Ressaltam que, no cenário internacional assim como no Brasil só foram encontrados, até o período da pesquisa, poucos trabalhos (apenas dois) focados na argumentação, o que demonstra a necessidade de que se realizem mais pesquisas sobre essa temática.

Para os autores dessa investigação, existem várias considerações a favor do uso da HFC nas aulas, tais como: melhor compreensão de conceitos, visão mais crítica, maior motivação dos alunos para o estudo das Ciências, dentre outras. Ainda, segundo Teixeira et al. (2012), como essa área de pesquisa precisa estar atenta à presença de maiores estímulos para que se efetuem mediações didáticas apoiadas na HFC, tais interferências tornam-se objetos de estudos, desde que proporcione uma melhor compreensão de situações reais de sala de aula. Desse modo, é possível produzir dados para que se estabeleça a real contribuição que a HFC pode oferecer ao ensino-aprendizagem.

A fim de contribuir com a ampliação das discussões sobre o uso da HFC, potencial mediador para aquisição de novos saberes, construímos um material didático sobre FMC. Com esse trabalho, pretendemos, através de uma abordagem histórico-filosófica, verificar as potencialidades do ensino contextualizado. Para tanto, concebemos a Sequência Didática, onde utilizamos o tema gerador: a Teoria do *Big Bang* (TBB). E, assim, tratamos de alguns tópicos de FMC, como por exemplo, a Teoria da Relatividade Restrita e Geral. Esta proposta visa contribuir para uma possível mudança no cenário do Ensino de Física,

¹ Os pesquisadores mencionados fazem parte da pesquisa de Elder Sales Teixeira, Ileana Maria Greca e Olival Freire Jr., intitulada “Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física”, publicada em *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*, sob organização de Luiz O. Q. Peduzzi [et al.], em Natal, pela EDUFRRN, em 2012.

na escola, que, em pleno século XXI, ainda tem na Física Clássica o principal objeto de ensino-aprendizagem.

REFERENCIAL TEÓRICO

Uma boa proposta de ensino deve conter, entre outros aspectos, uma reflexão sobre como o sujeito aprende. Nas práticas diárias dos profissionais de ensino, é possível observar a presença de várias influências, como o behaviorismo de Skinner ou o construtivismo de Piaget. Porém, na maioria dos casos, existe uma superposição dessas teorias de aprendizagem no fazer pedagógico desses profissionais. Essa realidade deve-se à falta de aprofundamento no entendimento dessas teorias, ao realizar suas atividades profissionais de maneira empírica e por vezes sem planejamento.

O problema torna-se maior quando o profissional utiliza a mesma estratégia de ensino em turmas com perfis completamente diferentes, desconsiderando fatores sociais, culturais e históricos, que influenciam no aprendizado do grupo. Segundo Lev Vygotsky, o desenvolvimento cognitivo tem interferência direta de um ambiente social, construído historicamente pelo indivíduo; ou seja, o homem é um ser histórico que se desenvolve em ambiente essencialmente social. Porém, ao conceber essa relação histórico-social, elimina-se a ideia de que o desenvolvimento cognitivo parte apenas da estrutura biológica, ou seja, não é apenas através da maturação biológica e da genética que o indivíduo desenvolve-se, é preciso interagir com o meio.

De acordo com a teoria vygotskyana, o desenvolvimento cognitivo está fundamentado em três pilares: o primeiro, afirma que as funções psicológicas possuem um suporte biológico, ou seja, o raciocínio acontece a partir das atividades cerebrais; o segundo pilar destaca que o funcionamento psicológico desenvolve-se a partir das relações do indivíduo e o meio externo, ou seja, aquilo que os olhos enxergam, ocorre na sociedade e não apenas dentro do indivíduo e contribui psicologicamente com o desenvolvimento cognitivo; já o terceiro pilar da teoria assinala que a conversão de relações sociais, em funções mentais, dá-se através da mediação. Essa conversão não ocorre de maneira direta, mas, mediada a partir da utilização de instrumentos e signos.

Nesse sentido, o instrumento é um mediador da interação do sujeito com o mundo. Essa ferramenta pode ser física, como o livro; ou abstrata, como a cultura. Já o signo é algo que dá significado a alguma coisa. “As palavras, por exemplo, são signos linguísticos, os números são signos matemáticos; a linguagem, falada e escrita, e a matemática são sistemas de signos” (MOREIRA, 2011, p. 109). Todas as funções psíquicas superiores são mediadas e os signos constituem o meio imprescindível para domínio e direção. Esse signo, que é a palavra, tem um papel central na formação de um

conceito, torna-se, posteriormente, um símbolo. Para Rivière (1987 apud MOREIRA, 2011), é pela interiorização de instrumentos e sistema de signos, produzidos culturalmente, que se dá o desenvolvimento cognitivo, ou seja,

os signos mediam a relação da pessoa com outras e consigo mesma. A consciência humana, em seu sentido mais pleno, é precisamente ‘contato social consigo mesmo’, e, por isso, tem uma estrutura semiótica, está constituída por signos; tem, literalmente, uma origem cultural e, ao mesmo tempo, uma função instrumental de adaptação. É por isso que Vygotsky diz que ‘a análise dos signos é o único método adequado para investigar a consciência humana’ (p. 93).

Na visão do pesquisador russo, a fala é essencial na evolução cognitiva de um indivíduo, pois a linguagem é o mais relevante sistema de signos. Ou seja, quanto mais difícil a intervenção demandada, mais significativa a mediação através da fala. Porém, para o estudioso construtivista, estudar a fala dissociada do pensamento é um grande equívoco. Considerar pensamento e fala de maneira desvinculada, leva-nos a concluir que a relação entre ambos é mera conexão mecânica e externa entre dois processos distintos.

Vygotsky (2008) detectou um erro, na estratégia compartilhada pelos pesquisadores, no que se refere ao estudo do pensamento verbal. Ocorrido pela opção equivocada da lógica de investigação que parte da premissa na qual todos os psicológicos complexos são elementos componentes. Ou seja, de acordo com essa metodologia de análise, o pensamento e a linguagem são estudados separadamente. No decorrer da análise, os parâmetros originais do pensamento verbal desaparecem. Esse procedimento leva-nos a generalizações do pensamento verbal e esquecer a natureza unitária do processo em estudo. O método eficiente para essa pesquisa, na perspectiva vygotskyana, é a partir da análise em unidades, referidas no estudo onde as propriedades básicas do todo são conservadas. Logo, considera-se a unidade do pensamento verbal como o significado da palavra. De acordo com Vygotsky (2008),

é no significado da palavra que o pensamento e a fala se unem em pensamento verbal. É no significado, então, que podemos encontrar as respostas às nossas questões sobre a relação entre o pensamento e a fala (p. 05).

Nesse sentido, a palavra é, ao mesmo tempo, pensamento e fala; e, nele, encontramos a singularidade do pensamento verbal. Vygotsky (2008) destaca a

importância da relação entre fala e comunicação, enfatiza os acordos sociais que atribuem significados aos signos. Segundo Edward Sapir (apud VYGOTSKY, 2008),

o mundo da experiência precisa ser extremamente simplificado e generalizado antes que possa ser traduzido em símbolos. Somente assim a comunicação torna-se de fato possível, pois a experiência do indivíduo encontra-se apenas em sua própria consciência e é, estritamente falando, não comunicável. Para se tornar comunicável, deve ser incluída em uma determinada categoria que, por convenção tácita, a sociedade humana considera uma unidade (p.7).

Vygotsky (2008) menciona a importância do conceito generalizado, pois, a partir de seu domínio é que ocorre o verdadeiro entendimento do pensamento, desse modo, a comunicação concretiza-se. Contudo, o pesquisador sinaliza que a formação de conceitos é uma extensão do processo de internalização e definido pela dicotomia entre saberes espontâneos e científicos². Esses dois saberes interagem e influenciam-se, constantemente, contribuem, assim, com o desenvolvimento da formação dos conceitos. Logo, a formação dos conceitos é decorrente de múltiplos saberes; porém, é o aprendizado escolar que intensifica o desenvolvimento mental do indivíduo. Vale ressaltar que, uma vez que os saberes espontâneos e científicos foram adquiridos em circunstâncias distintas, fornecem evoluções diferenciadas na mente da criança.

Pode-se conjecturar que, na retaguarda de qualquer conceito científico, existe um conjunto hierárquico que integra e que, por sua vez, infere uma relação consciente e acordada entre o sujeito e o objeto de aprendizagem. Não resta dúvida, que a escola é o ambiente ideal para aquisição de saberes científicos, conteúdo. O sujeito, ao qual se pretende mediar esses novos saberes, apresenta-se com conhecimentos espontâneos, obtidos nas interações com o mundo que o cerca. Contudo, a partir do momento que os saberes científicos são ampliados, os espontâneos também avançam e, nessa perspectiva, possibilitam a relação entre os saberes, muito mais imbricados.

Mas para que ocorra a internalização de novos instrumentos e, principalmente, de signos, Vygotsky (2008) afirma que, a aprendizagem deve ocorrer dentro da zona de desenvolvimento proximal, marcada na distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do sujeito, que é medido pela sua capacidade de resolver problemas

² Saberes espontâneos é todo conhecimento adquirido pelo indivíduo nas interações do dia-dia, no contato com os objetos e suas derivações em seu ambiente de convívio social. Já os saberes científicos, são aqueles adquiridos sistematicamente, transmitidos propositalmente através de metodologias específicas, decorrentes do processo ensino-aprendizagem e desenvolvidos no ambiente escolar.

sozinho, e o nível de desenvolvimento potencial, medido por meio da habilidade de solucionar problemas com o auxílio de um ser mais capaz, que pode ser um adulto, no caso de uma criança, ou em cooperação com colegas mais capazes. Quando isso é apreciado na elaboração das estratégias de mediação, a aprendizagem proposta na escola propende a uma maior eficiência, além de agregar um quantitativo maior de discentes.

O conceito de zona de desenvolvimento proximal assume lugar de destaque nos estudos sobre desenvolvimento cognitivo infantil. Isso se justifica pelo fato de permitir a compreensão da dinâmica interna do desenvolvimento individual, além de verificar os ciclos que já foram completados, assim como aqueles que estão em processo de formação. Em posse dessas informações, é possível delinear o aprendido pela criança e quais serão as próximas conquistas, além de, auxiliar na elaboração de estratégias pedagógicas que norteiam a ação do mediador.

Na visão vygotskyana, a inteligência leva o aprendiz, e as interações entre as pessoas podem criar as zonas de desenvolvimento proximal, e, a partir daí, a pessoa adquire aptidão para aprender determinados significados. Nesse sentido, o grande desafio do professor é, enquanto mediador educacional, estabelecer a zona de desenvolvimento proximal com o aluno, pois é a partir desse momento, que o docente tem a oportunidade de criar as condições favoráveis para que ocorra a aprendizagem do significado compartilhado socialmente. Naturalmente, nesse processo todos aprendem, na medida em que clarifica ou incorpora significados à sua organização cognitiva. No entanto, como professor, “ele ou ela está em posição distinta do aluno no que se refere ao domínio de instrumentos, signos e sistemas de signos, contextualmente aceitos, que já internalizou e que o aluno deverá ainda internalizar” (MOREIRA, 2011, p. 119).

No ensino de Física, Cleci Werner e Álvaro Becker (2004) chamam a atenção da necessidade de um ensino dialogado entre professores e alunos, promovido pela participação coletiva e, assim, possibilitar ao discentes a livre explanação de suas inquietações, a fim de garantir uma aprendizagem coletiva. Os pesquisadores destacam que atividades de aquisição de saberes científicos realizados neste formato, priorizam a internalização do conhecimento como um processo de construção coletiva e não mecânico. Ainda segundo os pesquisadores que, oposto a essa proposta de uma ação participativa, o ensino de Física é, nos dias de hoje, voltado para mera transmissão de conteúdos, onde os signos verbalizados pelo professor, não possuem significado para os alunos. Torna-se, então, uma missão desafiadora para os docentes buscar um ensino pautado no diálogo e na valorização da realidade histórico-cultural e social do aluno.

Uma proposta metodológica para o ensino de Física alicerçada na teoria de aprendizagem de Vygotsky, segundo Werner e Becker (2004), valoriza o contato dos alunos com os signos e símbolos relacionados ao seu meio. Esse convívio favorece o processo de internalização dos conhecimentos. O docente que utiliza, em sala de aula, de uma linguagem próxima e contextualizada, faz com que os alunos atinjam, de maneira mais significativa, os objetivos³. Portanto, a evolução dos saberes espontâneos junto com os científicos, permite que se quebrem as adversidades entre esses conhecimentos, passam a integrar um único corpo erudito, denominado, segundo Vygotsky, de formação de conceitos. Para tanto, cabe ao professor levar em consideração a inter-relação entre os saberes, sem partir da premissa de que o aluno é um ser desprovido de conhecimento, já que se relaciona o tempo todo. Essa interação social lhe transmite, mesmo que de maneira desestruturada, algum tipo de sabedoria.

Esse formato metodológico, mais participativo e com maior protagonismo dos discentes, exige uma postura diferente daquela que se observa na maioria dos professores, ressaltam Werner e Becker (2004). Contudo, os pesquisadores afirmam que, para ocorrência de uma verdadeira mudança na *práxis*, o professor precisa fazer uma investigação preliminar acerca do objeto de aprendizagem almejado e, de certa maneira viabilize o efetivo envolvimento dos alunos, dentro de uma perspectiva crítica e ampla do ensino.

Essa abordagem participativa, onde é oportunizado aos alunos que exponham suas considerações e inquietações, deve ser o objetivo principal da proposta de intervenção didática do professor na sala de aula. Além do mais, deve ser usada como critério avaliativo da eficiência da metodologia de ensino empregada, pois, só assim, o discente consegue o verdadeiro entendimento a respeito dos objetos de aprendizagem propostos em aula.

Perseguir o abeiramento entre os saberes espontâneos e científicos torna-se, dentro de uma proposta vygotskyana, a base das práticas pedagógicas do professor. Muito além de ser uma mera questão de metodologia de ensino, é uma necessidade para consolidação do ensino-aprendizagem. De acordo com Lúcia Moysés (1997), para que ocorra a internalização de novos instrumentos e, principalmente, de signos, a aprendizagem deve ocorrer dentro da zona de desenvolvimento proximal, marcada na distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo, tal como medido pela capacidade de

³ ROSA, Cleci T. W.; ROSA, Álvaro B. *A Teoria histórico-cultural e o ensino da física*. Revista Iberoamericana, 2004, p. 05.

resolver problemas, independentemente, e o nível de desenvolvimento potencial, comparado ao medido por meio da solução de problemas sob as orientações de um adulto, no caso de uma criança, ou em colaboração com companheiros mais capazes. A partir do momento que os saberes científicos são trabalhados na sala de aula, oportuniza-se ao aluno uma reavaliação e melhor compreensão a cerca dos conceitos espontâneos que traz consigo. Ainda segundo o estudioso russo, a reflexão, que o sujeito faz de certos conhecimentos e valores assimilados em seu meio social, é levada para escola, sob o formato de conceitos espontâneos. Na escola, com auxílio do professor, o aluno toma, progressivamente, consciência da complexidade desses conhecimentos.

Ao propor uma discussão sobre teorias da origem do Universo, por exemplo, é de extrema relevância que os alunos tenham espaço para expor suas convicções sobre a temática. Muito provavelmente, o professor não terá dificuldades em propor um debate, pois esse assunto encontra-se no cerne das inquietações humanas no que se refere à busca por respostas de sua existência. Logo, consideramos que todos possuem algum tipo de saber, correto ou não do ponto de vista da Ciência, mas que deve ser levado em conta no processo de ensino-aprendizagem. Iniciar a mediação e ouvir o que os alunos entendem sobre a origem do Cosmo, corrobora com a valorização de questões históricas, culturais e sociais que certamente estão presentes em seus discursos. Parece-nos mais profícuo que uma abordagem centrada na definição de conceitos, que na maioria das vezes, são introduzidos de maneira descontextualizada e abstrata. Segundo Werner e Becker (2004):

o professor que, ao ensinar, o faz de maneira participativa, dialogada, num processo no qual cada aluno expõe as suas ideias proporcionam um ambiente favorável a apropriação dos conceitos e fenômenos físicos. Em uma sala de aula tradicional, o professor procura valorizar as suas ideias, não permitindo um diálogo hipotético-dedutivo com a presença de hipóteses concorrentes, que servira de ancoradouro para o processo de aquisição do objeto do conhecimento. Já, em um ambiente onde ocorrem debates acerca do fenômeno em questão, as hipóteses vão surgindo e sendo discutidas e até eliminadas no decorrer da própria aula. Tal debate é um avanço na questão das relações sociais, pois traz para a sala de aula a oportunidade de um confronto entre as mais diferentes opiniões a respeito do objeto de ensino (p. 7).

São essas transformações que precisam ser implementadas nas intervenções didáticas, na maneira de ensinar Física, desvinculando, assim, propostas que ignoram os saberes espontâneos, descompromissadas com o desenvolvimento cognitivo do indivíduo. Mas para isso, é preciso instrumentalizar o professor, estimular projetos de

pesquisa, que tenham como resultado, produtos educacionais comprometidos com uma perspectiva mais ampla e integradora da Ciência. Uma educação centrada no aluno e, que valorize os saberes adquiridos nas interações com o meio que o cerca. Talvez, esse seja o caminho para um ensino de Física incluyente e crítico. Cabe ao professor, a responsabilidade de elaborar a mediação focada no desenvolvimento de talentos, contrapor aos métodos tradicionais e excludentes que enfatizam a seleção de talentos, e que trata todos os alunos de uma classe como se fossem futuros engenheiros e cientistas.

REFERENCIAL DE CONTEÚDO ESPECÍFICO

Os textos que, de forma ampliada, compõem este capítulo, foram adaptados para constituir a seção “Material de apoio ao aluno”, no Produto Educacional. Faz parte deste, quatro textos mencionados na “Sequência Didática”: o primeiro texto, intitulado “As concepções de Descartes, Newton e Kant sobre o Universo”, refere-se às visões clássicas da origem do Universo; já em “Relatividade Restrita de Einstein”, abordamos o estudo de Albert Einstein a respeito de uma nova perspectiva do espaço-tempo; em “Tópicos da Relatividade Geral”, buscamos esclarecer o princípio da equivalência exposto Einstein; no quarto e último texto “Os caminhos que levaram à Teoria do *Big Bang*”, explicitamos os diversos estudos que corroboram com este modelo cosmológico.

Texto 1: *As concepções de Descartes, Newton e Kant sobre o Universo*



**René Descartes
(1596-1650)**

Iniciamos a análise de algumas teorias sobre origem e evolução do Universo com um dos pensadores do século XVII, René Descartes. Em suas considerações, o estudioso francês imaginava que todo Universo poderia ter-se originado e, gerado tudo que nele existe sem qualquer intervenção Divina. Mas sua visão de mundo, não era uma efetiva quebra de paradigma, pois segundo ele, Deus foi o responsável pelo início absoluto, ao criar a matéria e o movimento, e as Leis naturais se encarregaram de tudo que veio depois.

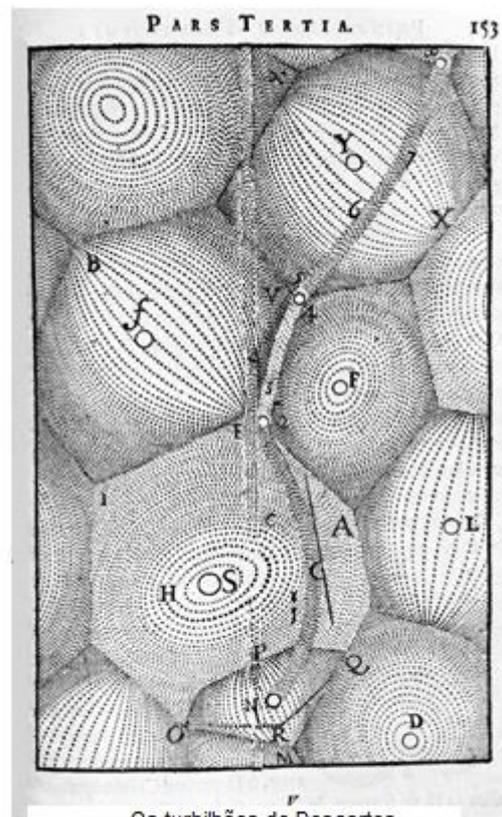
Galileu⁴ sofreu retaliações da Igreja, foi condenado pela Inquisição, por esse motivo, Descartes resolveu não publicar a obra *O*

⁴ Físico, matemático e astrônomo nasceu na Itália, em 1564. Foi o primeiro a contestar as afirmações de Aristóteles sobre a queda dos corpos. Por sua visão heliocêntrica, em 1611 foi a Roma, pois estava sendo condenado de herege. Desse modo, foi obrigado a assinar um decreto do Tribunal da Inquisição, onde declarava que o Sistema Heliocêntrico era apenas uma hipótese. Contudo, em 1632, voltou a defender o heliocentrismo e deu continuidade aos seus estudos. Morreu em 1642, cego e condenado pela Igreja católica por suas convicções científicas.

Mundo ou *Tratado da luz*, escrita entre 1623 e 1633, (conhecida postumamente); mas, por outro lado, divulgou algumas ideias sobre o Universo, de maneira cautelosa, em outros escritos. Em “Princípios da Filosofia”, de 1644, o pensador descreve o Universo como um espaço ocupado, *a priori*, por uma matéria primordial e homogênea. Deus, então, interfere e atribui dois movimentos iniciais a essa massa, que se fragmenta em porções menores. Esses destroços giravam em torno do seu próprio eixo. Por consequência dessa rotação, a matéria, a princípio sólida, esfacela-se em pedaços cada vez menores, como uma espécie de poeira que, por sua vez, preenche todo vazio entre as partículas maiores, as quais giram entorno de um centro comum.

O estudioso francês imaginava que a matéria primordial era agitada por Deus de modo desordenado, em todas as direções e, ainda, originava movimentos circulares – imensos turbilhões e redemoinhos distribuídos pelo espaço. As sucessivas quebras de partes da matéria primitiva produz o surgimento de três tipos de elementos: o terceiro e mais externo, formado por partículas sólidas maiores; o segundo, por uma matéria mais sutil, resultante do arredondamento das partículas sólidas; e um elemento ainda mais tênue, o primeiro elemento, que Descartes comparou a um fogo, que se encontrava ao centro dos turbilhões, em intensa rotação. Justifica-se, assim, o processo de formação das estrelas, no qual cada grande turbilhão formava uma sistema solar, como o da Terra. Em virtude do esfriamento do centro dos turbilhões médios e pequenos, devido à formação de uma crosta sólida feita do segundo elemento que foi capturado pelo primeiro que se encontra no centro, fundamenta-se, a formação dos planetas, dos satélites e até mesmo dos cometas. Ou seja, todos os planetas, que formam o Sistema Solar, eram estrelas menores, as quais perderam seu brilho e entraram no grande turbilhão do Sol.

A obra de Descartes teve grande sucesso no século XVII, pois, em detalhes, explicava a formação das estrelas, dos planetas, dos satélites naturais e dos cometas. Além disso, sua contribuição esclarecia eventos



Os turbilhões de Descartes
Crédito: Biblioteca do Observatório de Paris

terrenos, ao argumentar que o interior dos planetas era composto pelo primeiro elemento, algo semelhante ao fogo. Deste jeito, deveria existir um intenso movimento no interior dos planetas, que poderia produzir diferentes eventos. Ele acreditava que a casca sólida da Terra não possuía grande espessura e, portanto, poderia deixar escapar o fogo imo por vulcões, além de sofrer rachaduras e movimentar-se, ocasionando terremotos, vales e montanhas. Com o objetivo de desenvolver um estudo completo que explicasse vários fenômenos conhecidos, e cuja elucidação ainda não era compreendida.

As reflexões de Descartes sobre o Cosmos eram bem mais ricas em detalhes do que foi explorado em nosso texto, porém suas ideias centrais foram abordadas, a modo de permitir ao leitor apropriar-se das estruturas fundamentais de sua teoria. Em suma, seu projeto ambicioso almejava explicar a origem do Universo e sua evolução, praticamente sem a necessidade de intervenção celestial. À Deus, restou a criação da matéria inicial, que ocupava todo espaço pré-existente, além de fragmentá-la e atribuir movimento, e tudo que veio depois, obedecia as leis da natureza. Naquela época, suas reflexões a respeito da origem do Universo foram consideradas uma teoria materialista.

Crítico da cosmogonia cartesiana, Isaac Newton, ataca, cirurgicamente, diversos pontos da teoria descartiana. A principal crítica trata da ausência de bases matemáticas que permitem a realização de cálculos e previsões quantitativas, ou seja, a obra era puramente qualitativa, algo, que no período, não era bem visto. Contrapondo-se a esse estilo, Newton lança as bases da mecânica clássica em sua obra os *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, em 1687. A teoria newtoniana é concebida matematicamente, capaz de explicar movimentos dos planetas, cometas, satélites conhecidos e dos corpos que se moviam próximos à superfície da Terra.

Para o estudioso inglês, os planetas moviam-se no espaço vazio, pré-existente, presos ao Sol pela atração gravitacional, diferente de Descartes que não acreditava no vácuo e atribuía o movimento de órbita dos planetas ao arrasto provocado pelo turbilhão solar. Contudo, Newton (apud MARTINS, 2012) reconhece que sua teoria não elucidava o motivo pelo qual os planetas giravam no mesmo sentido, em órbitas quase que coplanares ao redor do Sol, mas, ao final, desiste da explicação científica e, segundo Roberto de Andrade Martins (2012), afirma:

embora estes corpos [planetas e cometas] possam realmente continuar em suas órbitas meramente pelas leis da gravidade, no entanto eles não poderiam de modo algum ter obtido a posição regular de suas órbitas a partir dessas mesmas leis.

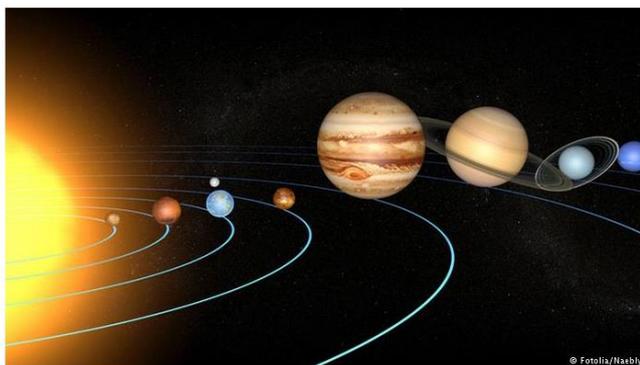
Não se pode conceber que meras causas mecânicas pudessem produzir tantos movimentos regulares [...] Este maravilhoso sistema do Sol, planetas e cometas, só pode vir do poder e da sabedoria de um Ser inteligente e poderoso. E se as estrelas fixas forem os centros de outros sistemas semelhantes, eles, sendo também formados por uma decisão sábia semelhante, devem todos estar sujeitos ao domínio desse Um... E para que os sistemas das estrelas fixas, por suas gravidades, não caíssem uns sobre os outros, Ele os colocou a imensas distâncias uns dos outros (p. 107).



Isaac Newton
(1642 - 1726)

Newton não tinha a intenção de explicar a origem do Sistema Solar, muito menos do Universo. Ele abandonou qualquer tentativa de esclarecer, por via natural e, atribui a uma inteligência Superior toda ordem observada no céu. O cientista inglês não realizou estudos que tomassem o Universo como um todo. A partir da teoria da Gravitação, ele assume, sem discussão, que as estrelas estão muito distantes do Sistema Solar e que, por isso, não é preciso levar em conta a influência sobre os planetas. E, ainda, considera que as estrelas estão muito afastadas uma das outras, e que sua atração gravitacional é mínima; no entanto, é difícil aceitar essa conclusão. Afinal de contas, embora a força diminua com o quadrado da distância, ela nunca se torna zero. Se houver um número infinito de estrelas, em um espaço infinito, a força total que elas exercem é zero, ou não? Não poderia haver uma tendência significativa de todas as estrelas se aproximarem umas das outras e, conseqüentemente, colidir e aniquilar o Universo? Essa questão de extrema importância, sobre a estabilidade gravitacional do Universo, não foi discutida pelo cientista.

Newton não contribuiu para questão da origem do Universo, que tem na religião seu principal referencial de argumentação. Mesmo com algumas tentativas isoladas, como a de Georges Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788) que,



Disponível em <<http://www.dw.com/en/tomorrow-today-the-science-magazine/av-18912597>>
(Acesso em: 10 out. 2016)

por exemplo, propôs uma explicação para formação do Sistema Solar, ao supor que um cometa passou perto do Sol, ou chocou-se, e arrancou uma parte de matéria, a qual

começou a girar em torno do Sol e, desse modo, formou os planetas. Mas essa proposta não teve a mesma importância que a Teoria de Descartes.

A concepção mais interessante que surge, posteriormente, para explicar a origem do Universo, foi concebida por Immanuel Kant. Sua obra *História Geral da Natureza e Teoria do Céu*, de 1755, discutido por Jean Seidengart, no artigo “A evolução das ideias cosmológicas de Kant em seus últimos escritos”, publicado na *Revista Educação e Filosofia*, em 2013, afirma que basta aceitar as Leis da Física newtoniana e levantar hipóteses a respeito do estado inicial do Universo, para explicar seu estado atual.

O filósofo prussiano certifica que a ordem e a beleza, que vemos no Universo, não são indicação direta de que Deus as estabeleceu na criação do Mundo. A ordem observada, segundo o estudioso, vem de um desenvolvimento natural da matéria do Universo. E, além disso, ratifica que toda ordem e beleza do universo são causadas pelas Leis naturais, as quais não podem ter surgido do nada.



Immanuel Kant
(1724 - 1804)

A princípio, Kant diz que sua teoria para o Universo aproxima-se do pensamento dos filósofos do atomismo – Leucipo, Demócrito, Epicuro e Leucrócio. Porém, diferente dos atomistas que acreditavam na espontaneidade das coisas do Universo, Kant admitia a existência de Deus para o estabelecimento da ordem observada nos céus e das leis que a regem.

Nessa perspectiva, compactuava com a mecânica newtoniana, mas, discordava de Newton, que atribuía ao fato das estrelas não se aproximarem, mesmo com a ação gravitacional, por estarem muito distantes umas das outras. Acreditava que elas giravam em torno de um centro comum quase que em um mesmo plano e a força gravitacional mantinha-as em uma ordem celestial. Mas, o filósofo não estagna seu estudo, pois segue a pesquisar as nebulosas, que, na época eram tratadas de certos corpos celestes, vistos ao telescópio, e pareciam pequenas nuvens muito distantes, com brilho fraco.

Para o estudioso prussiano, essas nebulosas eram consideradas conjuntos imensos de estrelas, que formavam uma espécie de disco de pequena espessura, mas tão distantes que não é possível vê-las separadamente. No entanto, se esse disco for visto de um determinado ângulo, terá o formato de uma elipse. Muito tempo depois, quando essas ideias foram aceitas, denominou-se “galáxia”, nome generalizado para todos os aglomerados de estrelas, que estão afastados do Sistema Solar.

Na segunda parte do livro, Kant apresenta a hipótese para origem dos corpos celestes. Segundo ele, a princípio, toda matéria, que constitui o Universo, estava espalhada uniformemente pelo Espaço, formando um caos inicial. Essa massa, inicialmente, estática e dispersada, move-se e concentra-se em torno dos pontos que sejam mais densos, pois a atração gravitacional torna-se mais intensa. Admite, ainda, a existência de forças, como a da natureza repulsiva, outros efeitos podem acontecer com essas partículas, por exemplo, serem desviadas ao se aproximar uma das outras, que provocam trajetórias inclinadas e fazem com que circulem em torno do centro.

Kant pressupõe que a matéria, inicialmente espalhada pelo espaço, continha todos os tipos de elementos materiais, misturados entre si. Uma substância, *a priori*, rarefeita – um gás milhões de vezes menos denso do que o nosso ar atmosférico. O volume de tal matéria cobria uma região maior que a distância do Sol até os planetas mais afastados do Sistema Solar, por isso, a massa total era enorme. Como quase toda essa matéria cai para o centro, justifica-se, assim, a formação do Sol e o fato de possuir, segundo Kant, 650 vezes a massa de todos os planetas somados.

Mas, inconformado, não desejava explicar só a origem do Sistema Solar, mas de todo Universo. Acreditava que Deus criou um Espaço infinito, cheio de matéria, pois o poder Divino ficaria sem uso caso criasse um Universo finito. A matéria inicial é indistinguível, sem nenhuma ordem, estrutura ou organização, inicialmente parada, uma condição instável, pois, no seu interior há forças, dadas por Deus; e, assim, estabelecem a ordem que observamos atualmente.

Kant supõe que a ordem começaria em todo o Universo em torno de um centro de atração. Mesmo sabendo que um Universo infinito não poderia ter um centro, acreditava que Deus escolheu uma região do Cosmos para ser o ponto onde, a partir do qual, iniciaria a organização do caos. Essa seria uma região de maior densidade e, segundo ele, mesmo admitindo um Espaço infinito, todo cheio de matéria, sua densidade diminui do centro para os pontos mais afastados. Em torno da região central e de maior densidade, começa a formar-se um sistema imenso, de tamanho crescente, em rotação, que gira ao redor de uma imensa massa central. No interior dessa matéria gigantesca e girante, com o passar do tempo, surgiram nebulosas elípticas, e, no interior de cada uma delas, irromperam milhares de estrelas com seu conjunto de planetas, luas e cometas.

O objetivo desse texto é dar uma visão de algumas teorias que antecederam o pensamento contemporâneo sobre a formação do Universo, contextualizada historicamente. Em sua Teoria Cosmogônica, Descartes propõe que a única intervenção

Divina foi a criação da matéria e os dois movimentos iniciais. Em seguida, foi regida pelas Leis da natureza. Newton, com extremo brilhantismo, criou a teoria que elucidava a dinâmica dos astros e dos corpos que se moviam próximos à superfície da Terra. Sua obra estava alicerçada em bases matemáticas bem consistentes, além de demonstrações experimentais complexas, mesmo para estudiosos contemporâneos. Entretanto, não fez nenhum estudo cosmológico propriamente dito, ou seja, em nenhum momento o cientista inglês discutiu a estabilidade gravitacional do Universo, e as implicações de seu estudo quando aplicado ao Cosmos. Já na obra kantiana, percebe-se uma busca em explicar a formação do Universo a partir dos conhecimentos científicos de seu período – considera tanto as observações astronômicas, quanto as Leis da Física, compartilhadas e aceitas na época.

Descartes e Kant compactuavam da ideia da não existência do vazio, já Newton, influenciado pelos antigos atomistas, admitia o vácuo. Porém, todos acreditavam em um ser Superior criador do Espaço e da matéria que nele se move, regido por Leis naturais. Newton atribuiu um caráter matemático, com grande capacidade preditiva. As concepções do Cosmos, do espaço e de como os eventos observados evoluem no tempo sofreram, no início do século XX, uma mudança radical com o advento da Relatividade de Einstein e da Mecânica Quântica.

Texto 2: *Relatividade Restrita de Einstein*

A Teoria do eletromagnetismo, de James Clerck Maxwell⁵, foi um dos grandes triunfos da Ciência do século XIX. Fenômenos físicos, aparentemente, descorrelacionados, que envolvem eletricidade, o magnetismo e a óptica, passaram a ser compreendidos em termos de um único conjunto de leis e princípios fundamentais. Uma consequência relevante da Teoria de Maxwell é a propagação de ondas eletromagnéticas com velocidade, no vácuo, de $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \cong 3.10^8 m/s$, sendo ϵ_0 , a permissividade elétrica no vácuo, e μ_0 , a permeabilidade magnética no vácuo. Constantes fundamentais, que na

⁵James Clerck Maxwell (1831-1879), físico e matemático escocês, destacou-se por suas pesquisas sobre eletromagnetismo, teoria cinética dos gases, visão colorida, anéis de Saturno, óptica geométrica, e alguns estudos sobre engenharia. Ele escreveu quatro livros e cerca de cem artigos científicos.

equação resumem a unificação da eletricidade, do magnetismo e da óptica, sobre a mesma teoria descrita pelas equações de Maxwell.

Todas as ondas eletromagnéticas, inclusive a luz, propagam-se no vácuo com velocidade c que, segundo o físico-matemático, é uma constante universal da Física, sem importar o valor do comprimento de onda da radiação, nem os detalhes do processo de sua geração. Entretanto, a noção de uma velocidade absoluta, representada por uma constante universal, parece estar em conflito direto com algumas noções básicas da mecânica newtoniana. De acordo com as Leis de Newton, o movimento é descrito do ponto de vista de um referencial, associado a um sistema de eixos coordenados, sendo que esse referencial que valida suas leis é denominado de inercial. Qualquer referencial que possui velocidade constante em relação a um referencial inercial, também, é inercial, mas como as Leis da mecânica são as mesmas em todos os referenciais inerciais, é impossível, por questões de primeiros princípios, distinguir dois referenciais inerciais, por meio de uma experiência mecânica.

Apesar da completa equivalência entre os referenciais inerciais, a descrição do movimento de uma partícula pode ser diferente em referenciais distintos. Em particular, a velocidade \vec{v} de uma dada partícula em relação a um referencial S , difere da velocidade \vec{v}' da mesma partícula em relação a outro referencial S' pela equação $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{V}$, sendo \vec{V} a velocidade do referencial S' em relação a S . Essa equação é a Lei de composição de movimento de Galileu. Mas, se aplicarmos esse mesmo argumento para luz, sua velocidade só valeria c , apenas em um referencial específico. Qual referencial especial seria esse?

Durante o século XIX, e mesmo nas primeiras décadas após a formulação do eletromagnetismo por Maxwell, acreditava-se que a luz só poderia propagar-se através de um meio material. Este meio hipotético que possuía propriedades especiais, conhecido como éter, estaria em repouso em relação às estrelas, ou seja, se acreditássemos em sua existência; então, o referencial especial onde valeriam as equações de Maxwell e, onde a velocidade da luz seria c , seria o referencial copernicano das estrelas fixas. Pois, nele o éter estaria em repouso.

A hipótese do éter foi considerada por vários pesquisadores do século XIX, dentre eles Hendrick Lorentz⁶ (1853-1928), que partiu da premissa do repouso absoluto do éter, além de ser a sede do campo eletromagnético. Segundo sua argumentação, o átomo era concebido como alguma modificação do éter onipresente. Essa modificação, entretanto, propagava-se de um lugar a outro sem que o meio alterasse sua posição. O éter penetrava em toda matéria, interagia eletromagneticamente, dando lugar a fenômenos eletromagnéticos em seu interior, mas não se movimentava, e por isso, a velocidade da luz seria independente da velocidade da fonte de luz. Com essa teoria do éter eletromagnético, Lorentz conseguiu explicar fenômenos ópticos e eletromagnéticos, até então, não relacionados. No estudo matemático que desenvolveu a respeito do assunto, precisou introduzir uma transformação para o tempo, de forma que este apresentava valor diferente em relação a cada referencial inercial, que se movesse relativamente ao éter. Lorentz denominou esse tempo de “tempo local” que, segundo Henri Poincaré⁷, dentro do arcabouço newtoniano, seria aquele marcado por relógios em repouso em relação a referenciais que se encontravam no éter. Esses relógios seriam sincronizados a partir da luz, sem considerar o movimento do referencial em que se encontrava.

A hipótese do éter era importante para justificar a existência de um referencial privilegiado onde, ao medirmos a velocidade da luz, encontramos c . Entretanto, ainda no final do século XIX, a hipótese de um éter material, foi aos poucos substituída pelo conceito de “éter vazio”, que seria equivalente a um referencial privilegiado, o qual validaria as equações de Maxwell, sem a justificativa decorrente da presença de um meio material. Mas, essa escolha implicava o abandono da relatividade galileana, pois, a ideia do éter vazio, como referencial privilegiado, introduziria o conceito de movimento absoluto, incompatível com a mecânica newtoniana.

Muitas tentativas de medir a mudança da velocidade da luz foram realizadas ao longo do século XIX; entretanto, o experimento de Albert Michelson⁸, em 1887, com a

⁶ Hendrick Antoon Lorentz (1853-1928), físico holandês, ganhou o Prêmio Nobel da Física em 1902, junto com Peter Zeeman, (1865-1943), físico holandês, que observou em 1896, baseando-se na previsão da teoria do elétron de Lorentz, a decomposição das raias espectrais em um campo magnético.

⁷ Henri Poincaré (1854-1912), matemático, físico e filósofo francês, contribuiu com importantes avanços na geometria analítica, no estudo das equações diferenciais e na mecânica celeste. Em 1889 ganhou o Grande Prêmio do Reis da Suécia, por solucionar o problema dos três corpos. Assim como Einstein, ele formulou uma teoria relativística da eletrodinâmica que, em partes, assemelhava-se com a relatividade restrita einsteiniana.

⁸ Albert Abraham Michelson (1852-1931) físico estadunidense, mas conhecido por seus trabalhos experimentais para determinação de valores mais precisos da velocidade da luz, assim como detectar a existência do éter. Foi o primeiro americano a receber o Premio Nobel em Ciência

colaboração com Edward Morley⁹, foi o mais preciso e com maior repercussão na época. Para realizar suas observações, usou-se um aparelho muito sensível denominado interferômetro. Esse dispositivo separa o feixe luminoso em duas partes e, então, recombina-nos para obter um padrão de interferência após propagarem-se por caminhos diferentes. Michelson e Morley procuraram, minuciosamente, por alterações na intensidade da velocidade média da luz, quando o aparelho era girado de modo que o outro caminho passasse a ficar paralelo ao movimento da Terra. No entanto, não se observou qualquer alteração. Muitas repetições e variações do experimento foram realizadas, porém todas as tentativas levaram ao resultado nulo. Parecia difícil conciliar o eletromagnetismo de Maxwell com a relatividade de Galileu e Newton

George Francis FitzGerald¹⁰, a partir de uma análise matemática e teórica dos resultados experimentais relativos à não detecção do éter, concluiu que a impossibilidade de sua detecção, deve-se ao fato do comprimento do interferômetro sofrer modificações na direção em que ocorreu movimento relativo ao éter estacionário. Ainda segundo o estudioso, essa modificação indicava que as forças moleculares eram afetadas pelo movimento do interferômetro em relação ao éter. Certo de suas conclusões, FitzGerald construiu equações matemáticas para demonstrar a contração obtida pelo movimento do corpo em relação ao éter.

De forma independente de FitzGerald, Lorentz admitiu que o braço do interferômetro utilizado por Michelson e Morley sofreu uma contração devido ao movimento da Terra através do éter. Essa hipótese apareceria em seu trabalho com as novas transformações para coordenadas espaciais em um referencial em movimento que, diferente das de Galileu, possibilitavam a conciliação do experimento de Michelson e Morley com a Teoria.

Lorentz apresentou a hipótese da contração espacial em 1904, como uma previsão de sua teoria¹¹. Ele defendia a ideia de que as forças moleculares transmitiam-se através

⁹Edward Morley (1838-1923), físico estadunidense, colaborou com Michelson na construção de um interferômetro a fim de fazer medições ópticas para detectar as propriedades de arrastar éter, cujos resultados negativos levou a Michelson a hipótese de que éter provavelmente não existia.

¹⁰George Francis FitzGerald (1851-1901), físico irlandês, primeiro a sugerir um método para produzir ondas de rádio, contribuindo assim para lançar as bases de telegrafia sem fio. Foi também um dos proponentes da relação de contração Lorentz-FitzGerald que, posteriormente, passou a integrar a Relatividade Restrita de Einstein.

¹¹Teoria do éter eletromagnético- Na década de 1890 a teoria eletromagnética de Maxwell já era aceita por quase todos e, com ela, o éter eletromagnético (que incluía agora também os fenômenos ópticos) passou a ser considerado como uma realidade.

do éter, assim como as forças elétricas e magnéticas, de tal forma que o movimento translacional no éter alterava a ação entre moléculas ou átomos. Porém, por mais que se tentasse nenhuma detecção ou observação foi realizada.

A solução para o impasse foi obtida por Albert Einstein que, em vez de modificar o eletromagnetismo de Maxwell, percebeu a necessidade de romper com a mecânica de Newton. As consequências imbricadas nas inquietações einsteinianas, as quais se exprimem sob a forma de uma nova concepção físico-matemática denominada “espaço-tempo” de quatro dimensões. Além disso, a massa passa a ser uma forma de energia, representada na equação $E = mc^2$, que se tornou famosa pela comprovação e utilização nas reações nucleares. Einstein apresentou as bases da Teoria da Relatividade Restrita (TRR) em 1905 no artigo “Sobre a eletrodinâmica de corpos em movimento”, publicado na revista alemã *Annalen Der Physik*. Nesse sentido, analisamos os postulados TRR e algumas de suas consequências.

Einstein não sentiu a necessidade do conceito de éter, pois junto com esse meio dotado de propriedades estranhas, estava a noção de um sistema de referência absoluto. Todo movimento é relativo, não em relação a qualquer lugar estacionário do Universo, mas, relacionado a qualquer sistema de referência arbitrário. Uma nave espacial não pode medir a intensidade de sua velocidade em comparação ao espaço vazio, mas apenas relativo a outros objetos. Por exemplo, se no espaço, um foguete *A* passa por um foguete *B*; os astronautas de *A* e de *B* observam, respectivamente, o movimento relativo e, a partir dessas observações, cada qual é incapaz de determinar quem está se movendo. O primeiro postulado da TRR afirma que as leis da Física são as mesmas em todos os sistemas de referência que se movam com velocidade constante.

De acordo com Einstein, não é possível conceber nenhum experimento capaz de detectar um estado de movimento uniforme. Desse modo, um movimento absoluto não tem significado físico. Seria estranho que as Leis da mecânica se modificassem para observadores que se movimentam com diferentes valores de velocidade e, essa mesma insensibilidade ao movimento estende-se ao eletromagnetismo. Logo, conclui-se que nenhum experimento mecânico, elétrico ou óptico, jamais revelou o movimento absoluto.

Uma das perguntas que inquietava Einstein, quando jovem era: Como pareceria um feixe de luz se estivesse se deslocando lado a lado com ele? Quanto mais ponderava sobre isso, mais se convencia de que alguém poderia deslocar-se junto com um feixe de luz. Finalmente, concluiu que não importa quão rápido os observadores possam mover-se, uns em relação a outros cada um mediria a velocidade da luz, que passa por eles, igual

a 300.000 km/s. Dessa maneira, formula o segundo postulado de sua teoria, a velocidade de propagação da luz no espaço livre tem a mesma intensidade para todos os observadores, sem importar o movimento relativo entre fonte e observador.

Einstein, ao admitir tais ideias, precisou reconhecer que o espaço e o tempo eram relativos e, que as equações de transformação de Galileu, para alteração de referencial, deveriam ser remodeladas para serem válidas para toda Física. As equações de Lorentz eram mais convenientes para avaliar as transformações de tempo e espaço de um referencial para outro. Nessa perspectiva, toda a dinâmica newtoniana precisou ser reconsiderada.

As novas concepções do espaço-tempo do século XX

Segundo Galison (2005),

o tempo, o espaço e a simultaneidade¹² ocupavam as mentes de diferentes homens do século XIX. A Europa, na segunda metade desse século, presenciou uma mudança tecnológica tal, que alterou o cotidiano daqueles homens. As comunicações entre as cidades se tornaram mais rápidas, seja pelo advento das ferrovias, seja pelo telégrafo. O trem ganhou grande importância como sistema de transporte entre os locais. Porém, com ele intensificou-se o problema do tempo. Era importante desenvolver técnicas que garantissem o sincronismo das partidas e chegadas dos trens. Para isso, era importante sincronizar os relógios. As cidades possuíam seu tempo local, um tempo próprio. Não havia um tempo universal. Como garantir o movimento dos trens sem esse tempo universal? (apud, GUERRA, A.; et. al., 2010, p.576).

Como já mencionado, no início do século XX, novas concepções sobre o tempo e o espaço emergiram da relatividade einsteiniana. A velha concepção newtoniana do espaço como palco vazio, absoluto, eterno e imutável, precisava ser substituída. Para o cientista inglês, os eventos da natureza aconteciam, sem interação, ou sem ser afetado por ele, tal ponto de vista que permaneceu vigente por muito tempo. Entretanto, é importante lembrar que a mecânica de Newton ainda funciona bem para uma gama de eventos. Desde

¹²Dois eventos que são simultâneos em um sistema de referência não necessariamente devem ser simultâneos em um sistema de referência que se move em relação ao primeiro. Essa possibilidade da não simultaneidade de eventos num sistema de referência quando eles são simultâneos em outro sistema é um resultado puramente relativístico – decorrente do fato da luz sempre se propagar com a mesma intensidade de velocidade para todos os observadores.

o lançamento de foguetes, como para o pouso de um avião, por exemplo. Contudo, todos esses eventos analisados dentro do arcabouço newtoniano, partem da premissa de um espaço físico real, capaz de admitir certos movimentos como o movimento de giro de uma patinadora em relação ao próprio espaço. Dentro dessa nova visão do espaço-tempo, Einstein propõe que, já que a velocidade da luz tem o mesmo valor para todos os observadores, o espaço-tempo não pode ser absoluto, ou seja, ajusta-se e mantém a constância da velocidade da luz.

A transformação de Lorentz

Analisaremos agora, uma importante consequência dos postulados da relatividade restrita, que é a relação geral das coordenadas espaço temporal x, y, z e t de um evento em um referencial S e as coordenadas x', y', z' e t' do mesmo evento para um referencial S' que se move com velocidade constante em relação a S. Estabeleçermos um condição de contorno para nossa análise, com objetivo de facilitar os cálculos. Para isso, vamos admitir que no instante $t = t' = 0$, com S' se movendo com velocidade v , em relação a S ao longo do eixo x (ou x'), estando y' e z' paralelos, respectivamente, aos eixos y e z . A partir das transformações de Galileu (equação I), temos:

$$x' = x - vt \quad y' = y \quad z' = z \quad t' = t \quad (I)$$

Representa às coordenadas espaço-temporais medidos por um observador em S' em termos de valores medidos por um observador S. A relação inversa é,

$$x = x' + vt \quad y = y' \quad z = z' \quad t = t'$$

Simplesmente, reflete o fato de que o sinal da velocidade relativa dos referenciais é diferente para os dois observadores. A transformação clássica de velocidades é

$$\mathbf{u}'_x = \mathbf{u}_x - v \quad \mathbf{u}'_y = \mathbf{u}_y \quad \mathbf{u}'_z = \mathbf{u}_z \quad (II)$$

A partir da derivação da equação II, é possível concluir que $a' = a$. Este resultado demonstra a invariância da aceleração para uma transformação de Galileu. De agora em diante só analisaremos as transformações na direção x , ou seja, iremos ignorar as

equações $y' = y$ e $z' = z$, de acordo com as condições de contorno estabelecidas inicialmente.

A transformação galileana das velocidades é incompatível com a relatividade restrita. Pois, se a luz que se propaga ao longo do eixo x com velocidade c no referencial S , a velocidade no referencial S' , de acordo com a equação II, deveria ser $u'_x = c - v$ e não $u'_x = c$. As equações de galileanas precisam ser modificadas para se tornarem compatíveis com a relatividade einsteiniana, porém de uma forma que se reduza as transformações clássicas para $v \ll c$. Vamos, então, às transformações de Lorentz. Suponhamos que a equação que a equação correta para x' seja da forma

$$x' = \gamma(x - vt) \quad (III)$$

onde γ é uma constante que pode depender de v e de c , mas não das coordenadas. Para que a equação III se reduza às equações clássicas, é necessário que $\gamma \rightarrow 1$ quando $\frac{v}{c} \rightarrow 0$. A transformação inversa deve ser semelhante, a não ser pelo sinal da velocidade:

$$x = \gamma(x' + vt') \quad (IV)$$

Como estabelecido nas condições de contorno, não há movimento nas direções y e z e, portanto, $y' = y$ e $z' = z$. Porém, a inserção do multiplicador γ , de valor ainda desconhecido, modifica a transformação clássica dos tempos, $t' = t$. Para comprovar a veracidade desta afirmação, vamos substituir x' da equação III na equação IV e explicitar t' . O resultado é :

$$t' = \gamma \left[t + \frac{(1 - \gamma^2)x}{\gamma^2 v} \right] \quad (V)$$

Considerando que uma fonte de luz seja acesa na origem de S no instante $t=0$, mas vale lembrar que as origens se coincidem em $t = t' = 0$, então, a fonte de luz também é acesa na origem S' em $t'=0$. A luz se expande a partir das duas origens na forma de uma onda esférica. Para um observador em S , a equação da frente de onda é;

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2 \quad (VI)$$

Porém, para um observador em S' , é

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2 \quad (VII)$$

Observe que as duas equações são compatíveis com o segundo postulado. Para que sejam igualmente compatíveis com o primeiro, é necessário que as transformações relativísticas, que estamos buscando, possam transformar a equação *VI* na equação *VII* e vice versa. Então, se substituirmos as equações *III* e *V* na equação *VII*, e considerando que $y'=y$ e $z'=z$, devemos obter a equação *VI*. Para isso, é necessário que

$$\gamma^2(x - vt)^2 + y^2 + z^2 = c^2 \gamma^2 \left[t + \frac{1 - \gamma^2}{\gamma^2} \frac{x}{v} \right]^2 \quad (VIII)$$

De acordo com o primeiro postulado, a equação *VII* dever ser igual a *VI*, porém, para isso, é necessário que o coeficiente do termo x^2 da equação *VIII* seja igual a 1, que o coeficiente do termo em t^2 seja igual a c^2 e que o coeficiente do termo xt seja zero. Qualquer uma dessas condições pode ser usada para determinar o valor de γ , pois todas levam ao mesmo resultado. Usando, por exemplo, o coeficiente de x^2 na equação *VIII*, temos:

$$\gamma^2 - c^2 \gamma^2 \frac{(1 - \gamma^2)^2}{\gamma^4 v^2} = 1$$

Pode ser escrita na forma

$$-c^2 \frac{(1 - \gamma^2)^2}{\gamma^2 v^2} = (1 - \gamma^2)$$

Dividindo toda equação por $1 - \gamma^2$ e, isolando γ , temos:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Onde γ é denominado de fator de Lorentz. Substituindo este fator na equação *V*, temos:

$$\begin{aligned}x' &= \gamma(x - vt) & y' &= y \\t' &= \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right) & z' &= z\end{aligned}$$

E a transformação inversa

$$\begin{aligned}x &= \gamma(x' + vt') & y &= y' \\t &= \gamma\left(t' + \frac{vx'}{c^2}\right) & z &= z'\end{aligned}$$

Adição Relativística de Velocidades

A transformação de velocidades na relatividade restrita pode ser obtida derivando a transformação de Lorentz. Suponha que uma partícula esteja se movendo em S com uma velocidade u de componentes $u_x = \frac{dx}{dt}$, $u_y = \frac{dy}{dt}$ e $u_z = \frac{dz}{dt}$. Um observador S' medirá as componentes $u'_x = \frac{dx'}{dt'}$, $u'_y = \frac{dy'}{dt'}$ e $u'_z = \frac{dz'}{dt'}$. Usando as equações da transformação de Lorentz, temos:

$$\begin{aligned}dx' &= \gamma(dx - vdt) & dy' &= dy \\dt' &= \gamma\left(dt - \frac{vdx}{c^2}\right) & dz' &= dz\end{aligned}$$

E, portanto,

$$u'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{\gamma(dx - vdt)}{\gamma\left(dt - \frac{vdx}{c^2}\right)} = \frac{\left(\frac{dx}{dt} - v\right)}{1 - \frac{v}{c^2} \frac{dx}{dt}}$$

Ou

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{vu_x}{c^2}}$$

Considerando que a partícula possui componentes nas direções y e z , é possível mostrar:

$$u'_y = \frac{u_y}{\gamma(1 - \frac{vu_y}{c^2})}$$

$$u'_z = \frac{u_z}{\gamma(1 - \frac{vu_z}{c^2})}$$

É importante mostrar que essa forma de transformação de velocidade é validada apenas para o caso especial em que os dois referenciais estão relacionados com a figura 1-17. Observe também que para $v \ll c$, ou seja, $v/c \approx 0$, a transformação relativística de velocidade se reduz à transformação clássica (equação II). A transformação de velocidades inversa é a seguinte:

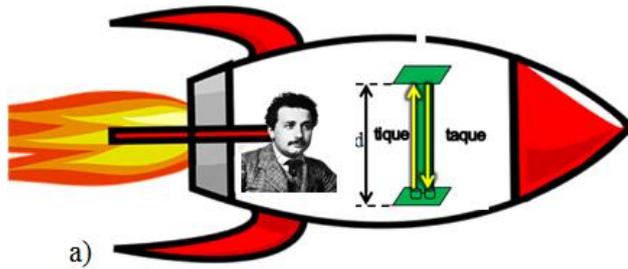
$$u_x = \frac{u'_x + v}{(1 + \frac{vu'_x}{c^2})}$$

$$u_y = \frac{u'_y}{\gamma(1 + \frac{vu'_x}{c^2})}$$

$$u_z = \frac{u'_z}{\gamma(1 + \frac{vu'_x}{c^2})}$$

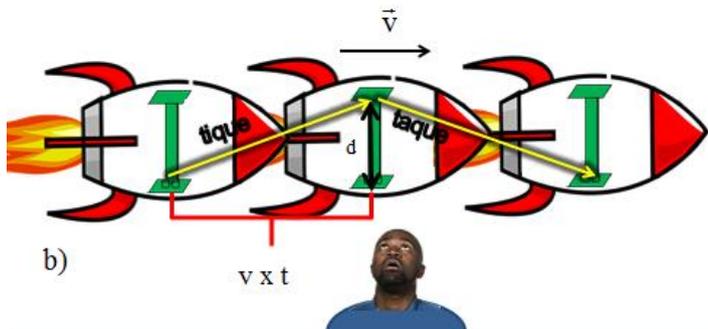
➤ *A dilatação do tempo*

Para analisar como o tempo pode ser alongado, vamos utilizar um tipo especial de relógio, constituído por um *flash*, um espelho e um detector de fótons, posicionado ao lado do *flash*, que aciona a lâmpada quando recebe um pulso luminoso. Suponha que esse relógio encontra-se dentro de uma nave espacial que se move em alta velocidade. Um observador dentro da nave olha para o relógio, e vê o *flash* subir e depois descer como se a nave estivesse em repouso.

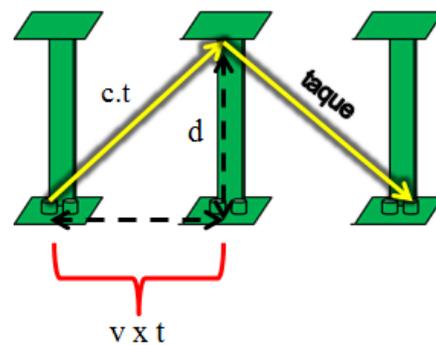


Tal observador não irá notar nenhum efeito fora do esperado. Como compartilha do movimento da nave, não existe movimento relativo entre o navegador e o relógio. Conclui-se, então, que observador e relógio compartilham do mesmo sistema de referência no espaço-tempo.

Suponha agora que um observador esteja sobre o solo quando vê a nave passar rapidamente por ele – hipoteticamente, à metade da velocidade da luz. As coisas transcorrem de maneira totalmente diferente a partir do sistema de referência, pois ele não verá o *flash* subir e descer como verificado pelo observador de dentro da nave. Em decorrência do movimento horizontal do foguete, perceberá o *flash* deslocando-se em diagonal.



Note que no sistema de referência fixado na Terra, o *flash* percorre uma distância maior, desde sua emissão até atingir o detector de fóton, comparada com a distância percorrida no sistema de referência da nave. Contudo, de acordo com o segundo postulado da TRR, a velocidade da luz é a mesma em relação a qualquer sistema de referência. O *flash* deve viajar em um tempo mais dilatado, no sistema de referência do observador que está na Terra, comparado com o tempo medido pelo observador



que compartilha o movimento da nave. Desse modo, a distância ao longo da diagonal é maior e a velocidade da luz é invariante; conseqüentemente, o tempo correspondente também deve ser maior. Esse estiramento do tempo é chamado de dilatação temporal. Conforme a figura b, deduzimos a relação temporal entre dois sistemas de referência.

A linha em diagonal, da figura b, representa o caminho que o *flash* percorre entre sua emissão até sua detecção, observada a partir do sistema de referência na Terra. Como $d =$ intensidade de velocidade \times tempo, pelo Teorema de Pitágoras, temos:

$$c^2 t^2 = d^2 + v^2 t^2$$

$$t^2 = \frac{d^2}{c^2} + \frac{v^2 t^2}{c^2}$$

Mas sabe-se que no referencial da nave $d = c \cdot t_0$, sendo t_0 denominado de “tempo próprio”, ou seja, o tempo medido no sistema de referência que se move junto com o relógio. Como $t_0 = \frac{d}{c}$, temos:

$$t^2 = t_0^2 + \frac{(v \cdot t)^2}{c^2}$$

Ao dividir os membros por t^2 , temos:

$$1 = \frac{t_0^2}{t^2} + \frac{v^2}{c^2} \rightarrow t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Com a expressão $\frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$, denominada de fator de Lorentz, geralmente

representado por γ .

Sendo assim, podemos representar a dilatação temporal como:

$$t = \gamma \cdot t_0$$

O paradoxo dos gêmeos

Uma ilustração muito utilizada da dilatação temporal é chamada de paradoxo dos gêmeos. Para entendermos o significado dessa suposta incoerência que desafia o senso comum, consideramos dois gêmeos idênticos de cinco anos. Um deles faz uma viagem pela nossa galáxia em alta velocidade; enquanto, o outro permanece na Terra. Quando o viajante retorna, está mais jovem que seu irmão que ficou, já que a diferença entre suas idades será maior, quanto maior for a velocidade relativa envolvida.

Em uma situação hipotética, caso nosso viajante se deslocasse, com 99,5% da velocidade da luz, e, a partir do relógio que se encontra na nave, tivesse transcorrido 10 anos desde sua saída, retornaria 10 anos mais velho, com 15 anos, no início da sua puberdade. Mas quanto tempo teria se passado para o irmão que ficou na Terra? Aplicando a relação de dilatação temporal, temos;

$$t = \frac{10}{\sqrt{1 - \frac{(0,995c)^2}{c^2}}} \rightarrow t = 100 \text{ anos}$$

Para o gêmeo que ficou na Terra, transcorreram 100 anos, ou seja, estaria com 105 anos. Caso essa viagem hipotética fosse possível, é provável que nosso viajante, ao retornar 10 anos mais velho, não encontrasse seu irmão gêmeo vivo.

➤ *A contração do comprimento*

À medida que os corpos movem-se pelo espaço-tempo, experimentam situações que fogem ao nosso senso comum. O tempo, conforme mencionado anteriormente, medido a partir de um referencial aqui na Terra, é dilatado. Em contra partida, o espaço sofre uma contração, de forma que os objetos pareçam mais curtos, quando estão em movimento com velocidades próximas às da luz, em relação a um observador parado na superfície do nosso planeta. Como já explanado, os físicos FizGerald e Lorentz foram os primeiros a propor a contração do comprimento. Porém, de acordo com eles, a própria matéria sofre a contração do comprimento em velocidades relativísticas.

O comprimento de um objeto, no referencial em que o mesmo se encontra em repouso, é conhecido como *comprimento próprio* e representaremos por L_0 . Em outro referencial, onde o objeto se move, o comprimento na direção do movimento é sempre menor que o comprimento próprio. Considerada uma barra em repouso em relação ao

referencial S' com uma das extremidades em x'_2 e a outra em x'_1 ; nessa perspectiva, o comprimento próprio da barra, neste referencial, é $L_0 = x'_2 - x'_1$. No referencial S , a barra move-se para direita com intensidade de velocidade v , correspondente à intensidade de velocidade do referencial S' , em relação a S . No referencial S , o comprimento da barra é definido como $L = x_2 - x_1$, onde x_2 é a posição de uma das extremidades da barra, em um instante t_2 e x_1 é a posição da outra extremidade no mesmo instante, ou seja, $t_1 = t_2$ medidos a partir do referencial S . Como S' move-se em relação a S , então t'_2 não é igual a x'_1 . Desse modo, a equação conveniente para calcular $x_2 - x_1$ em um instante t , por relacionar x, x' e t é:

$$x'_2 = \gamma(x_2 - vt_2) \quad e \quad x'_1 = \gamma(x_1 - vt_1)$$

Mas, como $t_1 = t_2$, temos:

$$x'_2 - x'_1 = \gamma(x_2 - x_1)$$

$$x_2 - x_1 = \frac{1}{\gamma}(x'_2 - x'_1) = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}(x'_2 - x'_1)$$

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Ou:

$$L = \frac{1}{\gamma} L_0$$

Considerando que o objeto move-se com intensidade de velocidade relativa muito pequena, a relação $\frac{v^2}{c^2}$ tende a zero e $L = L_0$. Porém, para valores de v próximos à velocidade da luz, o corpo sofre uma contração espacial ao longo da direção do movimento, ou seja, os comprimentos perpendiculares à direção do movimento não se alteram. Apesar das inferências distintas, a fórmula obtida, posteriormente por Einstein, era a mesma de Lorentz. Por esse motivo, a relação que apresentamos acima é conhecida como *contração de Lorentz*. Mas Einstein percebeu que, diferentemente de Lorentz e FitzGerald pensavam, a contração não era resultado da modificação das distâncias entre as moléculas que compõem um determinado objeto; devido à interação com o éter, e sim

em decorrência da relatividade das medidas do espaço e do tempo.

No cotidiano, as intensidades de velocidade relativa são muito menores que a da luz, não é possível perceber a dilatação temporal, muito menos a contração espacial. Um exemplo interessante de dilatação dos tempos e de contração das distâncias está relacionado aos múons¹³ que se



CARUSO; FREITAS, 2009, p. 364.

formam na atmosfera a partir dos raios cósmicos e decaem de acordo com a Lei estatística da radioatividade.

$$N(t) = N_0 \cdot e^{(-\frac{t}{\tau})}$$

Na fórmula explanada, N_0 é o número de múons no instante $t = 0$, $N(t)$ é o número de múons no instante t e τ é o tempo médio de vida (tempo próprio), que, nesse caso, é de aproximadamente $2\mu s$. Como os múons são criados em decorrência do

¹³ Os raios cósmicos são partículas ultraenergéticas vindas do espaço que ao entrarem na atmosfera terrestre se chocam contra moléculas de ar. Essas colisões geram bilhões de outras partículas. Os múons são parte dessas partículas, que viajam rumo ao solo em altíssimas velocidades com capacidade de atravessar quilômetros de rochas com facilidade.

decaimento de mésons π ¹⁴, a milhares de quilómetros acima da superfície da Terra, poucos deveriam ser detectados ao nível do mar. Um múon típico, com velocidade de $0,998c$, desloca-se, apenas, 600m em $2\mu s$. Acontece que o efeito da dilatação temporal faz com que o tempo de vida dos múons, no referencial da Terra, seja quinze vezes maior que seu tempo próprio. Portanto, em um referencial terrestre, o tempo de vida dos múons é de $30\mu s$, ao mover-se por uma distância de 9.000m, nesse período.

Do ponto de vista do múon, leva $2\mu s$ para desintegrar-se, contudo a atmosfera passa por ele com uma intensidade de velocidade de $0,998c$, que faz com que a distância de 9.000m, no referencial da Terra, contraia-se para, apenas, 600m no seu referencial.

Torna-se fácil diferenciar, experimentalmente, as previsões clássicas e relativísticas quanto ao número de múons presentes ao nível do mar. Suponhamos que, durante certo intervalo de tempo, sejam detectados 10^8 múons, a uma altitude de 9.000m. Quantos múons deveriam ser detectados no mesmo intervalo de tempo, ao nível do mar? De acordo com a previsão não relativística, o tempo que os múons levariam para percorrer os 9.000m, com velocidade relativa de $0,998c$, seria, como já vimos, de $30\mu s$, ou seja, 15 tempos de vida. Para $N_0 = 10^8$ e $t = 15\tau$ e, segundo a Lei da estatística de radioatividade, temos:

$$N(t) = 10^8 \cdot e^{(-15)} = 30,6$$

Portanto, a expectativa é de que apenas 31 dos 100 milhões de múons originais cheguem ao nível do mar. Contudo, de acordo com as previsões relativísticas, a Terra teve a distância contraída para 600m no referencial do múon. O tempo necessário para que isso ocorra é apenas $2\mu s = 1\tau$. Assim, o número esperado de múons ao nível do mar é

$$N = 10^8 \cdot e^{(-1)} = 3,68 \times 10^7$$

De acordo com as previsões relativísticas, devemos detectar cerca de 36,8 milhões de múons no mesmo intervalo de tempo. As medições realizadas ao nível do mar

¹⁴ Descoberto pelo físico brasileiro Cesar Lattes, mas que rendeu o Nobel de Física de 1950 ao seu chefe Cecil Frank Powell, os píons ou mésons π são partículas subatômicas formadas por um quark e um antiquark. Leves e instáveis, os mésons π ao decaírem se transformam em múons, neutrinos ou raios gama.

confirmam as previsões relativísticas e ratificam a capacidade da Teoria de dar conta de um número maior de fenômenos observáveis.

A nova Lei relativística de composições de velocidade, a qual assegurava a constância da velocidade de propagação da luz independente do movimento relativo da fonte emissora, tornou a velocidade da luz um limite absoluto, ou seja, nada no Universo desloca-se mais rápido que as ondas eletromagnéticas. Esse resultado produz outras consequências como a relação massa e energia¹⁵, aplicada a todo elemento de matéria. Antes que Einstein chamasse a atenção para a equivalência entre massa e energia; o potencial de produção de energia, a partir de fissão nuclear, era totalmente desconhecido. A confirmação das previsões do físico alemão possibilitou uma ampliação nos métodos de obtenção de eletricidade. Porém, o uso de reações nucleares, questionado por ecologistas, especialistas e pela sociedade como todo¹⁶, para produção de energia elétrica. Não só por questões ambientais, pois qualquer país que tenha tecnologia para realizar um processo de enriquecimento de urânio para fins pacíficos de obtenção de energia elétrica, pode também utilizar esse processo para alimentar a indústria bélica. O controle dessas tecnologias são alvos de calorosos debates entre vários países, inclusive o Brasil.

Os novos paradigmas, propostos pela relatividade einsteiniana, sofreram muita resistência nos círculos científicos, uma vez que, somente após 10 anos da publicação da TRR, o nome de Einstein passou a ser indicado para receber o Prêmio Nobel. Entretanto, apenas em 1920, a comissão de Ciências da Academia Sueca de Ciências, contemplou o brilhante físico alemão com o Nobel de Física, pelos trabalhos sobre o efeito fotoelétrico¹⁷, e não pela relatividade. Para o comitê, as verificações experimentais do efeito fotoelétrico, eram inequívocas; enquanto que as evidências da relatividade ainda eram passíveis de contestações. Ao longo da década de vinte, a resistência às novas concepções sobre espaço-tempo e gravidade acabaram, contudo, só por volta da década

¹⁵ A equação $E = m \cdot c^2$ se tornou o símbolo da era moderna por sua capacidade de estabelecer uma nova forma de se obter energia elétrica. De acordo com essa equação, a massa pode ser convertida em energia e vice-versa. Em um processo de produção de energia por desintegração da matéria, a quantidade de energia liberada é muito grande. Alguns quilogramas de matéria são capazes de alimentar uma cidade inteira, ou até destruída.

¹⁶ O documentário *Promessas de Pandora*, encontrado no *Youtube*, trás um interessante contraponto na discussão sobre a utilização da energia nuclear. Na película, ex-opositores se unem para defender a energia nuclear como única saída factível para o mundo.

¹⁷ Observado pela primeira vez em 1887, de forma acidental por Frank Hertz, o efeito fotoelétrico ocorre quando luz de determinada frequência incide numa superfície de metal e faz com que elétrons sejam ejetados da superfície. Em 1905, Einstein usou uma proposta apresentada por Planck, em 1900 sobre a radiação do corpo negro, e conseguiu explicar o efeito fotoelétrico.

de 50, a relatividade passou a fazer parte dos currículos das universidades de muitos países.

Texto 3: *Relatividade Geral*

A nossa compreensão sobre espaço, tempo e causalidade física¹⁸ seriam radicalmente modificadas pela Teoria da Relatividade Geral (TRG) de Einstein. Entretanto, as questões que se encontravam no início das inquietações desse cientista, não estavam vinculadas às novas concepções de espaço-tempo. Na verdade, o físico alemão só passou a conceber a ideia de espaço e o tempo como partes de uma única coisa denominada de espaço-tempo, ao vislumbrar a solução do problema físico posto em termos de uma nova geometria espaço-temporal.

A formulação completa da TRG foi finalizada em 1915; no entanto, desde 1907 já havia exposto suas indagações sobre a Teoria da gravitação relacionada à relatividade dos movimentos. Uma das questões que o intrigava era a limitação, em princípio, da invariância relativística aos movimentos retilíneos e uniformes, ou seja, Einstein identificou a necessidade de buscar uma teoria relativística para movimentos de qualquer natureza. A outra indagação fazia referência à Lei da queda dos corpos da Mecânica Clássica. Segundo Galileu, corpos abandonados, de certa altura, experimentam a mesma aceleração, independentemente, de suas massas. Essa Lei pode ser expressa sob a forma do “princípio de equivalência” local, entre um campo gravitacional homogêneo e um movimento uniformemente variado. No interior de um elevador em queda livre, por exemplo, não nos daríamos conta da queda porque ela é anulada pelo arrastamento do movimento acelerado. Nesse sentido, nas palavras do próprio Einstein:

foi então que me ocorreu a ideia mais fantástica de minha vida. Da mesma forma que o campo elétrico gerado pela indução magnética, o campo gravitacional possui uma existência apenas relativa. Porque para um observador que está caindo do telhado de uma casa, não existe [pelo menos em sua vizinhança imediata] um campo gravitacional [...] O

¹⁸ Na Física diz que qualquer evento é causado por outro. Sendo assim, se o estado atual de algo é conhecido com precisão, é possível prever o seu futuro (Determinismo). Segundo o conceito clássico de causalidade, todos os efeitos, sempre tem uma causa. O princípio da uniformidade acrescenta que, em circunstâncias idênticas, uma causa sempre produz o mesmo efeito.

observador tem, portanto, todo o direito de imaginar que se encontra ‘em repouso’¹⁹.

A partir dessas indagações, o cientista chega ao Princípio da Equivalência, base da Teoria da Relatividade Geral. De acordo com o postulado: *Um campo gravitacional homogêneo é equivalente, sobre todos os aspectos, a um referencial uniformemente acelerado.*

Einstein pressupôs que não é possível, a partir de nenhum experimento físico, independente de sua natureza, diferenciar o movimento uniformemente acelerado de um campo gravitacional. Uma consequência direta do Princípio da Equivalência é a consolidação da igualdade entre massa inercial e massa gravitacional. A mecânica de Newton já mostrava essa igualdade²⁰; porém, somente com a Relatividade Geral essa igualdade ganhou o *status* de “princípio fundamental” e, por isso, não se justifica mais a diferenciação entre massa inercial e gravitacional. O Princípio da Equivalência estende o primeiro postulado da Relatividade Restrita, a todos referenciais, ou seja, não é possível determinar a aceleração absoluta de um referencial. A aceleração, assim como a velocidade, é uma grandeza relativa.

Ao buscar em uma situação hipotética que ilustra melhor o significado físico do Princípio da Equivalência. Consideramos, inicialmente, uma pessoa em um campo gravitacional de intensidade g . Caso um livro seja abandonado, o observador verifica a queda do corpo em um movimento acelerado de intensidade g , como mostra a figura A. Mas, se colocamos essa mesma pessoa dentro de uma espaçonave em repouso ou em movimento retilíneo uniforme em relação às estrelas distantes; no entanto, longe de qualquer campo gravitacional, o indivíduo ou qualquer coisa dentro da nave imaginaria estar flutuando de forma livre. Logo, se os

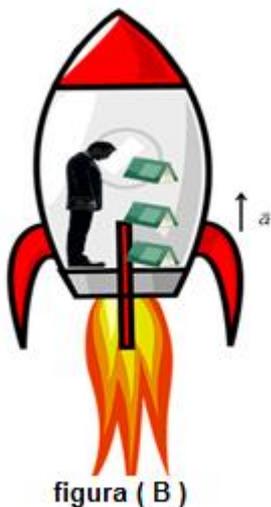


figura (A)

¹⁹ Trecho retirado de um artigo não publicado que hoje pertence ao acervo da *Pierpont Morgan Library*, em Nova York. Veja Pais, A., *Subtle Is the Lord...*, *Oxford University Press*, Oxford, 1982.

²⁰ De acordo com a 2ª Lei de Newton $\vec{F} = m\vec{a}$. Sendo m a massa inercial. Já o Princípio da Gravitação Universal diz que a força de interação entre corpos massivos é dada pela relação $\vec{F} = \frac{GMm}{r^2}\vec{r}$. Sendo m , nessa relação, a massa gravitacional. Experimentos foram realizados pelo próprio Newton com objetivo de verificar uma possível diferença entre essas massas, porém, nenhum resultado foi encontrado. Mesmo não oferecendo qualquer justificativa, a mecânica clássica já admitia a igualdade entre a massa inercial e a massa gravitacional.

motores fossem ligados e o foguete acelerado, um fenômeno semelhante a um campo gravitacional seria observado.



A parede adjacente ao motor da nave empurraria nosso observador e passaria a ser o piso da nave, enquanto que a parede oposta seria o teto, como mostra a figura B. Nessas condições, o viajante consegue ficar em pé, caminhar e, até mesmo, correr. Ao considerar que, na situação hipotética, a pessoa resolva abandonar o livro, levado na viagem espacial, a certa altura e, a nave acelerada a intensidade g , nosso aventureiro observaria o livro cair como se estivesse na superfície de nosso planeta, ou seja, é possível convencê-lo de que a nave não estivesse em aceleração, e sim, em repouso na superfície da Terra. A mesma constatação ocorreria se fossem abandonadas, no interior do foguete, duas esferas

diferentes, digamos, uma de madeira e a outra de ferro, soltas no mesmo instante e da mesma altura no interior da nave acelerada com g , a pessoa observaria as duas bolinhas, independente de suas massas, chegarem ao piso no mesmo instante. Relembrando o experimento de Galileu no alto da Torre de Pisa, nosso viajante ficaria propenso a afirmar que o fato observado era devido à ação de uma força gravitacional.

A análise matemática das consequências do Princípio da Equivalência é complexa e foge do objetivo desse trabalho. Contudo, é possível, qualitativamente, com uso de analogia, visualizar as diferenças entre a gravidade einsteniana e newtoniana.

Imaginamos uma grande catástrofe, certo dia, por motivo desconhecido o Sol desaparecesse. Pela mecânica newtoniana, a força gravitacional entre o Sol e a Terra desaparece, instantaneamente, ou seja, sem a interação à distância. A Terra sai de sua órbita em volta do Sol, passando a vagar pelo Universo. A descrição da mesma situação na Relatividade Geral, formulada por Einstein, é completamente distinta. Nesse caso, o espaço-tempo e a matéria estão interligados entre si e não constitui mais um quadro exterior aos fenômenos que nele se desenrolam; entretanto, é fisicamente afetado por eles. “As relações das distâncias e das durações em todo ponto estão submetidos ao campo de gravitação nesse mesmo ponto” (PATY, 2003, p.46). Ou seja, a presença da massa distorce a superfície na qual o Sol transita e faz com que a Terra mude sua trajetória sem nenhuma força envolvida.

No modelo de Newton, a Terra gira em torno do Sol devido à interação gravitacional entre os astros. Essa força atua a distância, ou seja, sem o contato físico e

instantaneamente. Já no modelo de Einstein, a presença do Sol distorce o tecido do espaço tempo e essa distorção possibilita a órbita da Terra. No entanto, se o Sol desaparecer, o que ocorreria, segundo a Gravidade einsteiniana? A aniquilação do Sol produziria uma onda no tecido do espaço-tempo (onda gravitacional) que se propagaria com velocidade da luz. Sendo assim, nessa perspectiva e, ao considerar que a distância entre o Sol e a Terra é de aproximadamente 150 milhões de quilômetros, somente sentiríamos os efeitos da ausência do Sol passados, aproximadamente, 8 minutos. Esse modelo einsteiniano representa uma ruptura com o clássico de ação à distância e de espaço e tempo como se fossem dimensões diferentes. Para Einstein, os corpos seguem a deformação do espaço-tempo, provocada pelo próprio corpo.

Previsões da Relatividade Geral

Quatro consequências diretas da TRG eram indicadas por Einstein. A primeira refere-se à órbita de Mercúrio. A mecânica de Newton parecia não funcionar perfeitamente quando se analisava a órbita desse planeta. Chegou-se a especular que um possível planeta denominado de Vulcano, que até então não havia sido observado, poderia estar obstruindo o movimento de Mercúrio ao ele permanecer em seu periélio²¹. Nenhum planeta foi observado, e a mecânica de Newton não conseguiu explicar; contudo, as previsões teóricas, a partir da teoria de Einstein, eram praticamente iguais ao observado pelos astrônomos.

A segunda consequência preditiva na Teoria de Einstein é o efeito da gravidade sobre a luz. Esse desvio ocorre devido à deformação do espaço-tempo, na vizinhança de grandes massas. A constatação dessa previsão ocorreu em 29 de maio de 1919, quando duas expedições, comandadas por Arthur Eddington²², foram enviadas, simultaneamente, a fim de observar e fotografar o eclipse solar na Guiné e no Brasil, na cidade de Sobral, interior do Ceará. O fotografado, durante o eclipse, revela uma posição aparente das

²¹ Em astronomia, o perélio ou periélio, que vem de peri (à volta, perto) e hélios (Sol), é o ponto da órbita de um corpo, seja ele planeta, planetóide, asteróide ou cometa, que está mais próximo do Sol. Quando um corpo se encontra no periélio, ele tem a maior velocidade de translação de toda a sua órbita. Quando o corpo em questão estiver orbitando qualquer outra estrela que não o Sol, utiliza-se o nome genérico periastro para identificar esse ponto.

²² Arthur Stanley Eddington (1882-1944), astrofísico britânico, foi nomeado, em 1913, diretor do observatório de Cambridge, assumindo a responsabilidade pela Astronomia teórica e experimental da Universidade. Em 1919 comandou duas missões para fotografar o eclipse solar total no Brasil e na Guiné. O tratamento dos dados obtidos nas expedições revelou coerência com as previsões da Relatividade Geral de Einstein.

estrelas, diferente daquela observada no céu noturno. Mesmo com as imprecisões de medição, os resultados estavam coerentes com a deflexão prevista pela Relatividade Geral, para os raios luminosos que passam próximos ao disco solar.

A terceira consequência da TRG é o deslocamento em um campo gravitacional do comprimento de onda da radiação luminosa para o vermelho. Para ilustrar essa previsão, vamos considerar uma cabine em queda livre, próxima à superfície da Terra com aceleração, $-g$. No exato instante em que se inicia a queda, a partir do repouso, um feixe de luz monocromático e de frequência f_0 é emitido verticalmente em direção ao teto, com altura h , por uma fonte localizada no piso da cabine.

Pelo princípio da equivalência, a luz leva um tempo $t = h/c$ e sua frequência medida, no referencial da cabine, continua f_0 . Para um observador externo, parado em relação à superfície da Terra, onde atua um campo gravitacional g , qual seria a frequência f da luz, no momento que ela chega ao teto da cabine, medida a partir do referencial externo?

Nesse instante, a fonte de luz afasta-se do observador que se encontra à superfície da Terra com velocidade $V = gt$; logo, a frequência da luz medida por este observador sofre um Efeito Doppler relativístico, dado pela relação, com $\theta = 0$ e $\beta \equiv \frac{V}{c}$:

$$f = f_0(1 - \beta) = f_0 \left(1 - \frac{gt}{c}\right)$$

Como $t = h/c$,

$$f = f_0 \left(1 - \frac{gh}{c^2}\right)$$

Sendo $V \ll c$, $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2} \equiv 1$. Como $\Delta f = f - f_0 < 0$, pode-se afirmar que é um desvio para o vermelho (*redshift*). Se ao invés de subir, a fonte estivesse descendo no campo gravitacional, $\Delta f = f - f_0 > 0$, caracterizado por um desvio para o azul (*blueshift*). O desvio gravitacional foi constatado em 1925, pelo astrônomo inglês John Adms, ao observar cuidadosamente o espectro da anã branca Sirius B, que mostrou o desvio para o vermelho esperado. Em 1960 os físicos, Robert Pound e Glen Rebka Jr., mediram o desvio gravitacional utilizando raios gama de 14,4 keV, caindo de uma altura de 22,6m, em um tubo onde havia vácuo, dando precisão de cerca de 10%. O mesmo experimento foi realizado em 1964 por Pound e Snider, obteve precisão de 1%. Este alto grau de precisão foi possível devido a uma técnica de ressonância denominada de efeito

Mössbauer. A quarta previsão da teoria, foi detectada recentemente pelos cientistas do Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser (LIGO, na sigla em inglês), e que foi amplamente divulgada nos meios de comunicação.

Concluimos essa etapa destacando a notável implicação da relatividade einsteiniana que possibilitou suscitar a cosmologia como Ciência aplicada à teoria do Universo como um todo. Esta proposta de Einstein, discutida pelos astrônomos holandeses Willem de Sitter (1872-1934), precisada e publicada pelo astrônomo russo Alexandre Friedmann (1888-1925) em 1924, em um artigo que demonstra a possibilidade de um Universo em expansão, contraposto ao Universo fechado e estático de Einstein.

Estas soluções correspondem exatamente aos modelos padrão-mundiais da relatividade geral e, ainda, são adequadamente conhecidos como os modelos cosmológicos de Friedman. Assim, a cosmologia como Ciência, nasce naturalmente a partir de uma série de trabalhos teóricos sobre a estrutura do espaço tempo do Universo, fundamentada pela Teoria Relativística da Gravitação e ratificada por observações astronômicas do movimento das galáxias.

Texto 4: *Os caminhos que levaram à Teoria do Big Bang*

No início do século XX, o conhecimento sobre o Universo ainda era muito limitado. Em 1917, Albert Einstein propõe o primeiro modelo cosmológico relativística.



Anni Cannon e Henrietta Leavitt

Esse modelo nasce, naturalmente, da Teoria da Relatividade Geral aplicada ao Universo, tomado em sua totalidade, e parte da premissa de um Cosmos estático e finito. Estático, porque essa era visão geral do Universo que se tinha naquela época, nenhuma observação feita até aquele momento demonstrava o contrário. E finito, para evitar a existência de grandezas infinitas nas condições de contorno, características indesejáveis em qualquer Teoria da Física (SOARES, 2012). Mas o aperfeiçoamento dos equipamentos observacionais ainda nas primeiras décadas do século, junto com o aprimoramento das técnicas para medir as distâncias astronômicas²³, mostrara-nos um Universo muito maior do que o

²³Coube as astrônomas norte-americanas Anni Jump Cannon (1863–1941) e Henrietta Swan Leavitt (1868-1921), que formavam, junto com outras mulheres, a equipe do astrônomo Edward Pickering, diretor do

imaginado até então. O método, desenvolvido por Anni Cannon e Henrieta Swan Leavitt, passou a ser utilizado pelos astrônomos, na primeira metade do século XX. Dentre eles, Edwin Powell Hubble que, ao medir as distâncias de afastamento dessas galáxias, em 1928, mostrou que o desvio espectral para o vermelho²⁴ (*redshift*), que já havia sido observado por outros astrônomos, ocorria com todas as galáxias por uma relação de proporcionalidade entre a distância e a velocidade de afastamento, e enunciou a lei que leva seu nome²⁵. As medidas, de Hubble, reforçaram a concepção de um Universo em expansão. Ou seja, essas observações mostram uma recessão sistemática e isotrópica, que se confirmam até distâncias de centenas de milhões de *parsecs*²⁶. O pesquisador observou, inicialmente, 46 galáxias, porém só conseguiu medir distância de 24. O gráfico da figura

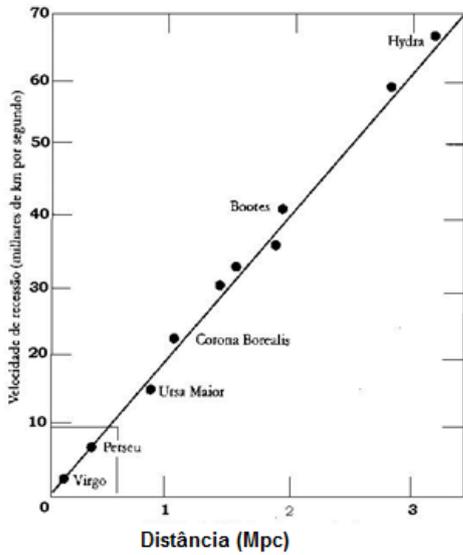
Harvard College Observatory, a missão de medir e catalogar o brilho de estrelas da coleção de chapas fotográficas do observatório. Anni Cannon tornou-se conhecida por desenvolver um sistema de classificação de estrelas por seu espectro e compilar uma bibliografia de 200.000 referências sobre estrelas. Com Edward Pickering, publicou o *The Henry Draper Catalogue* original, um total de 9 volumes (1918-1924), onde catalogou mais de 225.300 estrelas, classificadas por seu espectro estelar, que ainda hoje é aceito como um padrão internacional. Já Henrietta Leavitt, verificou que havia milhares de estrelas variáveis nas imagens das Nuvens de Magalhães, que hoje sabemos serem galáxias satélites da Via Láctea. Entre as estrelas variáveis, havia um tipo especial, denominadas "variáveis cefeidas". Em 1908, publicou seus resultados nos *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*, percebendo que algumas destas estrelas variáveis apresentavam um padrão: as mais brilhantes oscilavam com períodos maiores. Depois de estudos mais detalhados, em 1912 confirmou, a partir de seu catálogo, que a luminosidade das variáveis cefeidas era proporcional ao seu período de variação de luminosidade, e que essa relação era bastante precisa. A relação período-luminosidade para cefeidas fez delas as primeiras "velas-padrão" em astronomia, permitindo a determinação das distâncias de galáxias. Com esse brilhante trabalho, Henrietta Leavitt, escreveu seu nome na história da Ciência moderna como responsável pela descoberta de um método astronômico poderoso de medir distâncias: o método das estrelas variáveis cefeidas.

²⁴ Quando uma fonte emite uma radiação (sonora ou luminosa, por exemplo) a certa frequência, f , um observador em movimento relativo com respeito a esta percebe essa frequência com um valor, f' . Se a fonte se afasta do observador (ou o inverso), a frequência e a energia diminuem e o comprimento de onda aumenta, isto é, a luz é 'desviada para o vermelho (*redshift*)'. Se a fonte e o observador se aproximam, o efeito é inverso e a luz é desviada para o azul (*blueshift*). Este fenômeno é chamado de efeito Doppler-Fizeau.

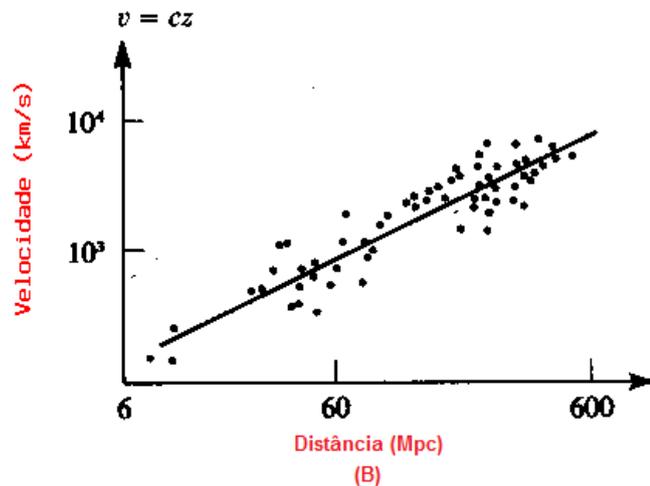
²⁵ Edwin Powell Hubble (1889-1953), astrônomo americano, que descobriu o caráter extragaláctico (fora da Via Láctea) das Nebulosas, pôs em evidência sua distribuição uniforme e forneceu a lei do desvio para o vermelho de seu espectro. Segundo essa Lei, analisando o *redshift* da luz das galáxias, mesmo que estrelas isoladas não sejam observáveis, podemos determinar a distância dessas galáxias em relação a Terra. A relação denominada de lei de Hubble se escreve $c \cdot z = H_0 \cdot d$, onde c é a velocidade da luz, z é o desvio espectral, d a distância da Terra, e H_0 que é a constante de Hubble ($H_0 = 100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$). Esta relação mostra que a velocidade de fuga, v , é proporcional à distância. A partir da Lei de Hubble também é possível calcular a idade do Universo. Para qualquer modelo cosmológico, a idade do Universo é inversamente proporcional à constante de Hubble. Medidas de idades de aglomerados estelares resultaram em um tempo maior que 13 milhões de anos.

²⁶ Unidade utilizada para medir distâncias estelares. 1pc equivale a 3,26 anos-luz. É muito comum se utilizar múltiplos do *parsec*, como kpc (10^3 pc) e o Mpc (10^6 pc). As distâncias das estrelas mais próximas são da ordem do *parsec*. O raio da galáxia Via Láctea é da ordem de 10^4 pc .

A, representa a relação entre a distância da galáxia, em *megaparsecs*, e a velocidade de afastamento em relação à Terra, em quilômetro por segundo.



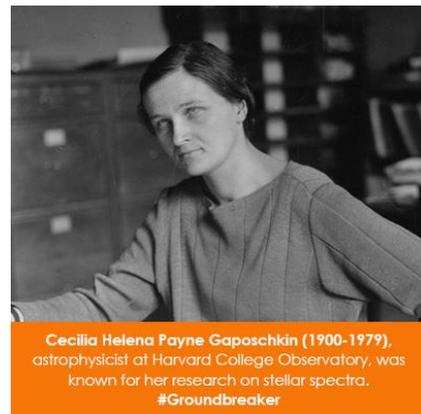
(A)
Gráfico da (velocidade x Distância) das galáxias observada por Hubble



(B)
Versão mais atualizada do mesmo gráfico. Observe que neste gráfico temos número muito maior de galáxias, ratificando as observações de Hubble.

Note que os pontos não estão todos alinhados, isso se deve a erros no processo de medição, ou a premissa inicial é falsa e precisa ser revista. Os cientistas costumam fazer o cálculo da reta que mais se aproxima dos pontos experimentais. A concentração dos pontos perto da reta ratifica a hipótese de Hubble.

Mas coube à astrônoma inglesa, Cecilia Payne, analisar os padrões de fotometria encontrados nos trabalhos de Henrietta Swan Leavitt, e, assim, usar os conhecimentos da Física Quântica sobre a estrutura do átomo para mostrar como e por que as linhas espectrais dos vários elementos variavam relativamente ao tipo espectral. Payne legitima a hipótese de que havia uma homogeneidade química entre as estrelas do Universo.



Em um dos capítulos da Tese de Doutorado, defendeu que o hidrogênio é milhões de vezes mais abundante que os metais em todo Universo, ideia estranha para época e questionada por grandes autoridades no assunto, dentre eles, Henry Norris Russel²⁷

²⁷ Henry Norris Russel (1877-1957), astrônomo norte-americano, um dos mais respeitados da época por seus trabalhos sobre classificação das estrelas, os elementos químicos que existem nelas, além de outros. Um dos seus principais trabalhos ainda é amplamente usado pelos astrônomos ao redor do mundo.

(1877-1957). Em carta enviada à própria Cecília, em 1925, antes mesmo de sua tese ser aceita, o astrônomo estadunidense declarou que estava convencido de que havia algo muito errado com a hipótese levantada por Cecília. Concluiu e afirma que era, claramente, impossível que o hidrogênio seria muito mais abundante no Universo que os metais pesados. Somente em 1929, reconsiderou no que diz respeito à abundância do hidrogênio no Universo.

Já Georges Lemaître²⁸, foi um dos pioneiros da Cosmologia Relativística, desde 1927, formulou e argumentou a ideia de que o Cosmos estava em expansão. A partir da premissa de um Universo curvo, é possível conceber que as galáxias afastam-se umas das outras e encontram-se, mutuamente, distantes. O cientista concluiu que se o Universo estivesse em expansão, em algum momento, retomaria o curso do tempo, no sentido inverso da expansão e, nós veríamos que a energia total do Universo estaria concentrada, em um volume muito pequeno de densidade de energia extrema, uma espécie de “átomo primitivo”, de natureza quântica.



Georges-Henri Édouard Lemaître

A hipótese da expansão do Universo, não deve ser interpretada como movimento das galáxias no espaço-tempo, mas como uma consequência de uma deformação do próprio espaço-tempo. Uma analogia que é utilizada de maneira recorrente para tratar a questão é a de um balão que se enche (ver figura A). Considera-se que as galáxias são pontos sobre a superfície do balão, é possível constatar, a partir desta analogia, que as distâncias dilatam-se na superfície, independente da posição do observador. Ou seja, não existe, no Universo, um referencial privilegiado; para qualquer referencial, o movimento relativo de afastamento entre as galáxias, poderia ser observado.

Em 1913, criou um gráfico relacionando o brilho das estrelas e suas cores, e pode, então, concluir que existiam estrelas muito luminosas e outras pouco luminosas. Um resultado muito parecido com que o astrônomo Hertzsprung também chegou poucos anos antes. O gráfico que os dois fizeram ficou conhecido como diagrama Hertzsprung-Russell ou diagrama H-R, um sistema que classifica as estrelas pelo seu brilho e pela sua cor.

²⁸ Georges-Henry Lemaître (1894-1966), padre, astro-físico e cosmólogo belga, foi aluno de Arthur Eddington e responsável por uma teoria precursora, hoje denominada Teoria do *Big Bang*, mais tarde desenvolvida por George Gamow.



Figura(A): Analogia da bexiga de aniversário para o universo em expansão. Quando está sendo inflada, os pontos de sua superfície se afastam uns dos outros. Quanto maior for a distância entre os pontos, maior será a velocidade de afastamento.

Entretanto foi George Gamow²⁹, que propõe um modelo mais plausível do Universo. Integrando Relatividade Geral e últimos desenvolvimentos da Física quântica, a hipótese de Gamow culminou na Teoria do *Big Bang*³⁰. Gamow e colaboradores retomaram a ideia de Lemaître do “átomo primitivo”, ou seja, de um estado inicial extremamente denso de matéria-energia do Universo concentrado em um volume muito pequeno. Segundo sua equipe, inicialmente, o Universo é formado por prótons e nêutrons de energia cinética elevada, cujas colisões incessantes desencadeavam reações nucleares com a produção de núcleos mais complexos. Com isso eles acreditavam que pudessem explicar a nucleossíntese dos elementos químicos. Porém, essa proposta mostra-se correta para núcleos muito leves, de número atômico igual ou inferior a 4. Outros núcleos só poderiam ser formados em condições de confinamento gravitacional das estrelas (nucleossíntese).

²⁹ George Gamow (1904-1968), físico russo, naturalizado americano, foi um dos principais proponentes do modelo cosmológico que ficou vulgarizado por *Big Bang*.

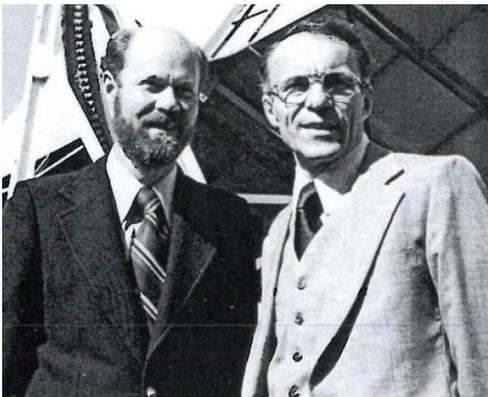
³⁰ Quem atribuiu o nome *Big Bang* à nova Teoria Cosmológica, que propunha um Universo finito no tempo, foi o astrônomo britânico Fred Hoyle, em sinal de escárnio por achar improvável o modelo proposto por Gamow.

Na Teoria de Gamow, a princípio, o universo era muito quente e de grande densidade de energia, e resfriou-se durante a expansão. Quando a temperatura atinge um valor inferior a 10.000K, os núcleos atômicos de hidrogênio capturam os elétrons, em princípio livres, e formam-se os átomos. Essa reação vem acompanhada de emissão intensa de radiação na faixa do ultravioleta. No processo de expansão, essa radiação era resfriada até tornar-se micro-onda. Essa previsão foi confirmada, com uma pequena diferença, em 1965, pelos físicos americanos da companhia Bell Telephone, Arno Penzias e



George Anthony Gamov

Robert Wilson³¹. Na busca por sinais de rádio nos céus, por razões totalmente diferentes, detectaram de maneira acidental a radiação difusa de rádio, a qual foi interpretada como a radiação eletromagnética fóssil do fundo do céu, como previu Gamow. Penzias e Wilson receberam o Prêmio Nobel de Física em 1978 por essa descoberta.



Robert Wilson e Arno Penzias

A observação da radiação fóssil de micro-onda, junto com a constatação da abundância de elementos leves (hidrogênio, hélio e seus isótopos) e a observação do movimento de expansão do Universo, evidências que corroboraram para adesão da comunidade científica a respeito da Teoria do *Big Bang*, mesmo que não responda a perguntas sobre da

singularidade do ponto inicial.

Energia e matéria escura

A hipótese de uma matéria escura surgiu, a partir da observação da dinâmica das galáxias, pela Astronomia, e da estrutura global do Universo, pela Cosmologia. Medições astronômicas detectaram uma anomalia no movimento das estrelas que se encontram nos braços das espirais das galáxias, ou seja, bem distante do centro galáctico.

³¹ Arno Penzias (1933) e Robert Wilson (1936), físicos americanos da companhia de Bell Telephone, receberam o Prêmio Nobel de Física em 1978.

O problema está associado a uma diferença entre a velocidade translacional, prevista para essas estrelas, e as estimativas pela observação óptica. A análise dos dados observacionais aponta para uma velocidade maior do que, teoricamente, esperava-se, suscitando a existência de uma maior concentração de massa nessa região, a fim de corrigir as discrepâncias entre a teoria e a observação. É como se as massas, no nível dos objetos astronômicos comparados às galáxias, apresentassem-se de maneira indireta através dos seus efeitos dinâmicos e gravitacionais; ao mesmo tempo, exibem propriedades desconhecidas até o momento, uma vez que não são detectadas pelo método habitual.

A matéria como conhecemos é formada por prótons, nêutrons e elétrons. Por serem muito mais pesados que os elétrons, os prótons e os nêutrons são, efetivamente, partículas que determinam a massa de uma pessoa, ou qualquer objeto. Essas partículas são chamadas de bárions, conseqüentemente, a matéria que constitui as coisas ao nosso redor é denominada bariônica. Até o momento, a matéria não detectada (não bariônica), porém, a responsável, provavelmente, pela aceleração orbital das estrelas encontradas mais distantes do centro das galáxias, é a predominante no Universo (cerca de 80% de toda matéria do Cosmos), segundo o Modelo Cosmológico Padrão (MCP). Toda matéria bariônica (M_b) contribui com cerca de 18% da matéria total do Universo, sendo que deste percentual, 20% é de M_b luminosa e 80% de M_b escura.

A nucleossíntese primordial ocorreu entre 1s e 200s, após o *Big Bang*; desse modo, é possível determinar limites para matéria bariônica no Cosmos. Para tanto, determina-se a razão entre o valor da densidade observada do Universo (ρ_b) e a densidade do Cosmos, para que o processo de expansão seja compensado pela atração gravitacional dos elementos que o constitui ($\rho_{crit.}$ = densidade crítica). No entanto, o valor (Ω_b)³² dessa razão medida atualmente é de 0,01; quantidade 10 vezes menor do que teríamos se fosse possível voltar no tempo até o instante que a radiação e a matéria encontravam-se em equilíbrio. Nesse instante, o valor estimado da densidade observada seria o mesmo da crítica, ou seja, $\Omega_b = 1$. Sendo assim, para um Universo crítico ($\Omega_b = 1$), a matéria bariônica contribuiu com no máximo 5% da energia total do Cosmos. O parâmetro de densidade de matéria Ω_m , é dado pela soma da densidade de matéria bariônica e não bariônica.

$$\Omega_m = \Omega_b + \Omega_{nb}$$

³² $\Omega_b = \rho_b / \rho_c$ é o parâmetro de densidade bariônica, definido pela densidade bariônica ρ_b em unidades de densidade crítica do universo $\rho_c = 3H_0^2 / 8\pi G$; H_0 é o valor da constante de Hubble atualmente.

O valor estimado nos tempos atuais da densidade de matéria é de $\Omega_m=0,24$, segundo MCP. Ou seja, esse valor corresponde a 24% (matéria bariônica e não bariônica) da densidade de energia do Universo, o restante está na forma de densidade de energia escura $\Omega_\Lambda=0,76$. Mas de que seria constituída essa energia escura? Assim como a matéria não bariônica, não sabemos de que a energia escura é composta; contudo, observações recentes do Cosmos revelam que o Universo expande-se de maneira acelerada. A hipótese, que emerge atualmente, associa a expansão acelerada do Universo a possíveis propriedades exóticas da energia escura. Acredita-se que este tipo de energia produz uma grande pressão negativa, o que causa o efeito anti-gravitacional.

As questões, relacionadas à matéria e energia escura, encontram-se na fronteira dos novos paradigmas da Cosmologia. Desde a metade dos idos de 1980, observa-se um grande desenvolvimento das pesquisas a cerca da matéria escura não bariônica. As prováveis soluções dessas inquietações apontam para o desenvolvimento de novos modelos em Física subatômica e teorias de campos, testados por novos instrumentos idealizados, a partir dessas novas pesquisas, ou até mesmo, por ajustes dos equipamentos já existentes. Ao certo, teremos novidades vindas do céu, que certamente produzirão uma verdadeira revolução na Cosmologia, e em nossa concepção de Universo.

METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA SD

Conforme a teoria Lev Vygotsky (2008), a gênese das transformações intelectuais e do desenvolvimento cognitivo, encontra-se em todas as situações vivenciadas pelo sujeito. As interações históricas, sociais e culturais, são fundamentais no processo de assimilação do saber, pois é desse convívio social que afloram as diversas representações de signos e os respectivos significados, que compartilhados, contribuem para a evolução das funções mentais superiores.

Ao desenvolver seu estudo de como o indivíduo aprende, Vygotsky (2008) aborda conceitos como: mediação, signos, símbolos, zona de desenvolvimento real, proximal e potencial, fundamentais para um bom trabalho pedagógico. Elementos relevantes para compreensão do processo de crescimento intelectual do aluno. De acordo com a proposta de ensino aprendizagem vygotskyana, a ação do sujeito sobre o objeto do conhecimento, é sempre mediada por recursos, como: instrumentos, signos e sistemas de símbolos. Desse modo, a aquisição de conhecimentos é realizada a partir de um fator intermediário, que faz a relação deixar de ser direta e passe, necessariamente, pela mediação.

Segundo Vygotsky (2008), o instrumento é o mediador que se interpõe entre o sujeito e o objeto do conhecimento, possibilita assimilação/apropriação do saber proposto e, desse modo, favorece a criação de zonas de desenvolvimento proximal que, junto com o ser mais capaz – que pode ser representado pelo professor –, potencializa a capacidade de aprendizagem do aluno. Em nossa proposta de intervenção didática, utilizamos vídeos como principal instrumento mediador de aprendizagem. Pois segundo José Moran (1995):

o vídeo está umbilicalmente ligado à televisão e a um contexto de lazer, e entretenimento, que passa imperceptivelmente para a sala de aula. Vídeo, na cabeça dos alunos, significa descanso e não "aula", o que modifica a postura, as expectativas em relação ao seu uso. Precisamos aproveitar essa expectativa positiva para atrair o aluno para os assuntos do nosso planejamento pedagógico. Mas ao mesmo tempo, saber que necessitamos prestar atenção para estabelecer novas pontes entre o vídeo e as outras dinâmicas da aula (MORAN, 1995, p. 1).

Assim, dentro de uma perspectiva vygotskyana e da História e Filosofia das Ciências (HFC), propomos uma metodologia de ensino de objetos de aprendizagem de Física Moderna e Contemporânea (FMC), a partir do tema gerador: Teoria do *Big Bang*. Os modelos cosmológicos surgidos, no século XX, são adventos naturais dos avanços teóricos proporcionados pela Teoria da Relatividade de Albert Einstein e da Física

Quântica. Portanto, a temática que escolhemos propicia uma gama de possibilidades para introduzir tópicos de FMC, de maneira contextualizada em sala de aula.

Em nossa pesquisa, mostramos a importância da Teoria da Relatividade Restrita e Geral (TRRG), para mudanças de concepções sobre o espaço-tempo, além de uma nova visão sobre o Cosmo. Essa abordagem teve presença marcante da HFC, uma vez que antes de analisar as concepções espaço-temporais einstenianas e suas consequências para uma melhor compreensão do nosso lugar no Universo, investigamos as cosmogonias de pensadores do século XVII e XVIII. Objetivamos, nesse estudo, demonstrar para os alunos como questões socialmente compartilhadas, na época, implicavam na visão que os estudiosos tinham sobre o espaço, o tempo, a origem e evolução do Universo. Nessa perspectiva, buscamos desenvolver a criticidade dos alunos, assinalar a Ciência como legado cultural da espécie humana, e a relação simbiótica com inquietações que movem a sociedade.

O primeiro encontro foi reservado para uma ampla discussão dos saberes espontâneos dos alunos sobre o tema gerador desta Sequência Didática (SD). A partir da comparação dos conhecimentos que os discentes possuíam antes e após a aplicação da SD, buscamos produzir dados para munir o professor-pesquisador de informações, utilizadas, *a posteriori*.

As provocações sobre o compreendido a respeito da Teoria do *Big Bang* enfatizam como as influências socioculturais imbricam-se no processo de internalização de saberes científicos. Registramos o discurso dos alunos, uma vez que, segundo Marly Krüger de Pesce (2012):

a pesquisa com uma abordagem qualitativa é a mais promissora neste tipo de investigação, pois privilegia a análise de microprocessos, possibilitando a realização de um exame intensivo dos dados. Busca descrever e analisar a cultura e o comportamento humano, do ponto de vista dos que estão sendo estudados (p. 4).

Ainda no primeiro encontro, exibimos um vídeo e mostramos que a discussão da temática sobre a origem do Universo, ao longo da história da humanidade, nem sempre teve a simpatia de certas culturas. Após a película, perguntamos aos discentes qual a importância de abordar questões que envolvem as concepções sobre a origem do Cosmos na sala de aula. Esse formato de mediação, que busca uma maior participação dos estudantes no processo de ensino aprendizagem, foi repetido nos encontros seguintes. Com essa metodologia, oferecemos aos alunos: uma melhor compreensão dos conceitos

intrínsecos a respeito do objeto de aprendizagem destacado na SD, ampliação do pensamento crítico e aperfeiçoamento da visão sobre a natureza da Ciência. Para além, investigamos a aceitação da utilização de HFC nas aulas de Física.

Ao final do último encontro, retomamos a pergunta inicial sobre o que os alunos entendiam sobre a Teoria do *Big Bang*. Mais uma vez foi solicitada uma produção de texto de no mínimo uma lauda para fins de análise qualitativa do que foi internalizado durante aplicação da SD.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A Sequência Didática está dividida em seis encontros de 100 minutos; mais um, de 50 minutos. Em cada um deles foi abordado um subtema; porém, interligados pelo objetivo principal deste trabalho que é ensinar a Teoria do *Big Bang*. No desenrolar da aplicação, o mediador deve estimular a todo instante a participação dos alunos, enfatizar que a contribuição dos saberes espontâneos de cada um contribui para o desenvolvimento cognitivo do grupo.

Segundo Lev Vygotsky (1988), as interações interpessoais podem estimular a criação e são denominadas de zonas de desenvolvimento proximal, é a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo e o nível de desenvolvimento potencial. Ou seja, por um lado, medido por sua capacidade de resolver problemas independentemente e, de outro, medido por meio da solução de problemas com a intervenção de outrem. Uma vez que as condições de internalização do conhecimento são garantidas, o indivíduo adquire a capacidade de aprender. Sendo assim, cabe ao professor, como sujeito habilitado, a função de estabelecer o desenvolvimento proximal entre os discentes; pois, a partir daí, serão criadas condições favoráveis para que ocorra a aprendizagem de signos e significados compartilhados socialmente.

Baseados na teoria de ensino-aprendizagem de Vygotsky (1988), propomos em nossa SD a utilização de audiovisuais, a fim de facilitar o processo de mediação do conhecimento científico e promover a diversificação de recursos didáticos, uma vez que as películas corroboram com o despertar do interesse dos alunos sobre o tema central. A partir dessa premissa didático-metodológica de um ensino de Ciência contextualizado, discutimos objetos de aprendizagem da Física tais como: Gravitação Universal, Relatividade Restrita e Geral, além de questões que envolvem a natureza da Ciência, tendo como tema gerador a Teoria do *Big Bang*.

1º Encontro: 2 aulas (100 minutos)

A princípio, problematizamos a Teoria do *Big Bang* e ouvimos os pré-conceitos dos alunos sobre o tema. Em busca de saberes espontâneos e influências dos mesmos na concepção dos discentes sobre tal proposição, deve-se guiar as discussões a fim de motivar o posicionamento de um maior número de participantes. Desse modo, enfatizar a importância do debate como fator preponderante para discorrer sobre o modelo cosmológico. Para tanto, o mediador deve realizar uma *brainstorming*³³, anotando as palavras ou expressões que mais se repetem, com base nas seguintes provocações:

- Já ouviu falar na Teoria do *Big Bang*?
- Sabe o que significa?
- Acredita nessa Teoria? Justifique.
- Conhece algum argumento que sustente essa Teoria?
- Conhece alguma outra teoria que antecedeu a Teoria do *Big Bang*?

O Tema pode gerar polêmicas e discussões calorosas, pois desperta questões delicadas da concepção de mundo de cada um. Nesse momento, o professor não deve esquivar-se das controvérsias, pelo contrário, deve mostrar que esses conflitos sobre o tema da SD confundem-se com a história da humanidade e, a todo tempo, torna-se alvo de contestações veementes. Conforme Vygotsky (1988):

o pensamento propriamente dito é gerado pela motivação, isto é, por nossos desejos e necessidades, nossos interesses e emoções. Por trás de cada pensamento há uma tendência afetivo-volitiva, que traz em si a resposta ao último ‘porque’ da nossa análise do pensamento. Uma compreensão plena e verdadeira do pensamento de outrem só é possível quando entendemos sua base afetivo-volitiva (p. 129).

³³ Significa tempestade cerebral ou tempestade de ideias. É uma expressão inglesa formada pelas palavras *brain*, que significa cérebro, intelecto e *storm*, que significa tempestade. O *brainstorming* é uma dinâmica de grupo utilizada como uma técnica para resolver problemas específicos, desenvolver novas ideias ou projetos, juntar informação e, ainda, estimular o pensamento criativo (OSBORN, 1979).

O professor, nesse momento, deve retomar o discurso e propor as seguintes questões:

- É importante discutir esse tema na sala de aula?
- O que isso implica na sua vida e/ou na sua percepção de mundo?
- O tema provoca sua curiosidade?

Após realizar as perguntas, os discentes reavêm a fala. O docente, por sua vez, deve anotar as expressões mais reproduzidas e, assim, ratificar a relevância da discussão sobre a origem do Universo, na sala de aula. Nessa perspectiva, o professor deve explanar uma breve abordagem sobre as questões sociais, históricas e culturais, envolvidas no tema.

Para facilitar a argumentação sobre essas implicações, o mediador, pode utilizar o recorte (15:31-27:24) do 1º Episódio de *Cosmos*³⁴. Na versão mais atual da série, o astrofísico Neil deGrasse Tyson, considerado um dos maiores divulgadores da Ciência, na atualidade, encarrega-se de conduzir o telespectador a uma viagem pelo Cosmos. Nesse trecho, deve-se focar na história de Giordano Bruno e consequências sofridas na época por não concordar com a concepção sociocultural do Universo, concebida no período. Nada impede que o professor exiba, nesta SD, todo o episódio. Certamente, torna-se mais interessante e instrutivo, porém não o fizemos por questão de tempo, pois implicaria em pelo menos mais um encontro e, em nossa realidade, não seria possível. Contudo, disponibilizamos o *link* para que os discentes possam, em casa, assistir *on-line*. Sugerimos, também, outro vídeo em formato de desenho animado, que remonta o período de Giordano Bruno, facilmente encontrado no *Youtube*³⁵. No entanto, apresenta como protagonista Galileu Galilei e seus conflitos com a Igreja diante da nova concepção de Mundo.

Outra dica para aprofundamento sobre o envolvimento sociocultural e suas implicações em nossa compreensão sobre o universo, é o filme *Alexandria*, de Alejandro

³⁴ Disponibilizada no canal fechado *National Geographic Channel*, da tevê fechada ou através de uma conta no *Netflix* (provedor global de filmes e séries de televisão). Outra possibilidade é assistir e utilizar a série como instrumento de aprendizagem, através do endereço eletrônico <<https://plus.google.com/110049350699561172013>>, onde o docente pode encontrar a série completa para baixar ou assistir *on-line* (Acesso em: 10 mar. 2016)

³⁵ Episódio disponibilizado em <<https://www.youtube.com/watch?v=rxicbBpmbVc>> (Acesso em: 25 mar. 2016)

Amenábar, lançado em outubro de 2009. Passa-se na cidade egípcia, título da produção cinematográfica, entre os anos 355 e 415 da nossa Era, a personagem central é a filósofa, matemática e astrônoma Hipátia, filha de Theon, último diretor da Biblioteca de Alexandria. A protagonista tem atuação destacada, uma vez que figura práticas reservadas aos homens, ao ensinar na Escola de Alexandria. A película retrata a paixão da professora pelo estudo e a incansável procura por respostas sobre o movimento da Terra em torno do Sol; em uma época em que conflitos relacionados à fé são evidenciados e geram diversos enfrentamentos entre cristãos, judeus e pagãos.

Tanto o desenho animado quanto à produção fílmica são apenas sugestões que complementam e ampliam o processo de ensino-aprendizagem. Na impossibilidade de explorar tais instrumentos, segue-se com a discussão proposta após a exibição do recorte do 1º Episódio da série *Cosmos*. O mediador deve passar a palavra mais uma vez para turma, atentando ao que os discentes observaram. O professor, novamente, retoma o discurso e faz as considerações finais sobre o primeiro dia de debate, antecipa o que será realizado na próxima aula e solicita para que os alunos produzam um texto sobre as questões discutidas, com mínimo de uma lauda. Nessa produção escrita, é preciso elaborar um breve relato experiencial sobre o que foi abordado nesse encontro.

Ao final, devemos entregar aos alunos o texto: As concepções de Descartes, Newton e Kant sobre o Universo (texto adaptado no capítulo “Referencial de conhecimento específico”). Tal composição norteia discussões propostas para o próximo encontro. Este material pode ser utilizado como fonte de pesquisa tanto para o professor que pretenda aplicar esta SD, como para os discentes envolvidos neste trabalho. Na verdade, todos os Apêndices foram produzidos pensando no aluno; porém, não impedem que sejam realizadas outras pesquisas ou, ainda que se proponham a outras leituras.

Para maior aprofundamento do professor na temática, sugerimos a leitura dos artigos, elencados nas Referências, os quais foram utilizados na elaboração dos textos. Na perspectiva de uma melhor instrumentalização do docente que resolva aplicar esta SD, sugerimos os artigos:

- O Universo (OLIVEIRA FILHO, 2010);
- O lado escuro do Universo (SODRÉ JR., 2010).

2º Encontro: 2 aulas (100 minutos)

Neste encontro, a temática trabalhada trata das concepções de alguns pensadores do Século XVII e XVIII sobre o Universo. Estudiosos e teorias, tais como: René Descartes³⁶, Isaac Newton³⁷ e Immanuel Kant³⁸.

O objetivo deste encontro é mostrar a evolução do pensamento humano e de suas concepções sobre o Universo e, ainda, estudar as teorias elaboradas por esses pesquisadores, considerando as contestações a que foram expostas naquele período, no que diz respeito à aceitação e/ou refutação. O mediador inicia a aula retornando ao questionamento, já mencionado:

➤ Vocês conhecem alguma Teoria que antecedeu a Teoria do *Big Bang*?

Após ouvir a contribuição da turma, sugerimos que o professor faça uso de *slides*, para facilitar a explanação do aporte teórico acima mencionado; a fim de compreender a dinâmica do Universo. O texto norteador, As concepções de Descartes, Newton e Kant sobre o Universo (texto adaptado no capítulo “Referencial de conhecimento específico”), descreve, sem aprofundamento, as ideias cosmogônicas dos pensadores; no entanto, destacamos algumas limitações da relevante obra de Newton sobre a Gravitação quando aplicada ao Universo como um todo.

Porém, antes de iniciar a explanação, o mediador, deve exibir o 3º Episódio da série *Cosmos*, onde se destaca a obra de Newton, a qual mostra a grandiosidade e a capacidade de explicar o movimento dos astros observados. Outros personagens de

³⁶René Descartes (1596-1650), filósofo e matemático francês, por vezes chamado de “pai da Filosofia Moderna”, notabilizou-se também por seus trabalhos na matemática, propondo uma junção entre a álgebra e a geométrica, fato que culminou na geometria analítica e no sistema de coordenadas que leva o seu nome. Além disso, notabilizou-se no estudo das Ciências, destaque para física, sendo um dos protagonistas do nascimento da Ciência moderna.

³⁷Isaac Newton (1642-1726), cientista inglês, que se destacou, principalmente, no estudo da Física. Publicou em 1687 o livro *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* (Principia), considerada uma das principais obras na história da Ciência, onde ele relata o Princípio da Gravitação Universal, além das Três Leis que levam seu nome.

³⁸Immanuel Kant (1724-1804) filósofo prussiano, considerado uma das principais referências da filosofia moderna. Atuou na epistemologia, ganhando notoriedade pela elaboração do idealismo transcendental. É também conhecido pela filosofia moral, e ao propor uma teoria para formação do sistema solar e do próprio Universo.

relevância da história da Ciência também são apontados, nesse episódio, dentre eles: Edmond Halley³⁹ e Robert Hook⁴⁰.

Durante a explanação do professor, os discentes podem inferir e contribuir a fim de promover o desenvolvimento das discussões sobre o tema. O docente deve continuar a registrar as questões, desta vez, através de gravação de áudio e vídeo, obviamente, com a devida autorização prévia dos estudantes/responsáveis.

Ao findar o encontro, como atividade para casa, o professor pede aos discentes que assistam ao 4º Episódio da série Cosmos⁴¹, onde o astrofísico Neil deGrasse Tyson, desta vez, explana a Teoria da Relatividade. Os alunos devem fazer anotações dos tópicos que lhes chamam mais atenção no episódio e, desse modo, munidos de informações, preparar-se para as discussões da próxima aula. Além disso, os discentes devem elaborar outro texto de, no mínimo, uma lauda relatando o que foi discutido neste segundo encontro. Lembrando que é relevante que o professor disponibilize aos alunos o primeiro texto que consta no capítulo “Material de apoio ao aluno”, para ajudá-los na sua produção textual.

3º Encontro: 02 aulas (100 minutos)

Iniciamos estas aulas com a temática da Teoria da Relatividade, devido à sua relevância para a fundamentação da Teoria do *Big Bang*. Para tanto, os alunos são motivados pelas seguintes perguntas:

- O que é o tempo? É absoluto?
- E o espaço? Sempre existiu? O que vocês entendem por espaço?

³⁹Edmond Hallay (1656-1742), cientista britânico, atuou em diversas áreas do conhecimento, destacando-se, principalmente na astronomia. Contemporâneo e amigo de Newton, ajudando-o a publicar o “Principia”, e fez uso de suas leis para ser o primeiro a afirmar que os cometas eram objetos periódicos e prevendo a passagem de um cometa no ano de 1758. Por conta da confirmação dessa previsão, em sua homenagem, o cometa passou a ser chamado de Halley.

⁴⁰Robert Hook (1635-1703) cientista inglês de grande prestígio, considerando uma das figuras chaves da revolução científica. Criou a lei da elasticidade que leva o seu nome, criou o microscópio composto, o barômetro, o primeiro relógio portátil de corda, entre outras criações. No campo da astronomia, elaborou teoria sobre as rotações planetárias, que possibilitou a descoberta da rotação de Júpiter.

⁴¹Episódio disponibilizado no *link* < <https://plus.google.com/110049350699561172013> > (Acesso em: 05 mar. 2016).

- Quais dúvidas surgiram após assistirem ao episódio “Um céu cheio de fantasmas”?

Após as discussões promovidas pela problematização, momento de organização do conhecimento, o professor, com base na aula expositiva, sempre a motivar a participação dos discentes, aborda a Teoria da Relatividade Restrita. Como nosso trabalho tem por principal objetivo analisar os caminhos que levaram à Teoria do *Big Bang*; o docente deve utilizar um período maior na análise conceitual da Relatividade Geral e do seu protagonismo, juntamente com a Física Quântica, a fim de elaborar uma nova concepção de Universo.

Sobre a Teoria da Relatividade Restrita (texto adaptado no capítulo “Referencial de conhecimento específico”), deve-se destacar:

- conceito de Referencial;
- descrições em diferentes Referenciais e a invariância das Leis que explicam os fenômenos observados;
- a Relatividade clássica e sua incompatibilidade com o eletromagnetismo de Maxwell;
- os postulados da Teoria da Relatividade Restrita;
- a dilatação Temporal;
- o Paradoxo dos gêmeos;
- a contração Espacial.

Como se trata de um assunto que contraria o senso comum e nossas experiências cotidianas, não permitindo perceber as implicações relativísticas, cabe ao mediador criar zonas de desenvolvimento proximal para internalização de novos saberes. Para facilitar essa mediação, montamos uma apresentação em *Power point*, para além da apresentação, exibimos o vídeo no qual o astrofísico Neil de Grasse Tyson descreve o Paradoxo dos gêmeos, com duração de 4:08 minutos, facilmente encontrado no *Youtube*⁴². A utilização do vídeo reforça, com ludicidade, os postulados da Relatividade Restrita e a dilatação temporal. Destacamos, nessa perspectiva, os efeitos temporais sofridos por dois gêmeos após uma hipotética viagem de um deles a 99,9% da velocidade da luz durante cinco anos.

⁴² Disponibilizado em <https://www.youtube.com/watch?v=azt7n_wjdDQ> (Acesso em: 06 mar. 2016)

Acreditamos que essa exibição, juntamente, com as explicações anteriores geram inquietações nos discentes. Para tanto, é interessante que, no planejamento, o mediador disponibilize um tempo, sob sua administração, para as impressões da turma, motivada, caso necessário, com perguntas do tipo:

- O que vocês acharam do vídeo?
- Estas questões espaço-temporais intrigam sua compreensão de mundo?
- Você acredita que isso realmente é possível?

Após alguns minutos de discussão, o professor deve retomar a fala para dar sequência aos trabalhos e destacar os efeitos relativísticos sobre o espaço e o tempo. Na oportunidade, encerramos a mediação sobre Relatividade Restrita abordando a relação massa e energia. Caso o docente deseje aplicar esta SD ou queira abordar temas como fissão e fusão nuclear objetivando uma melhor internalização dos saberes científicos sobre a relação massa energia, poderá tratá-los, nesse momento. Não detalhamos estes fenômenos, na presente SD, pela indisponibilidade de tempo, mas acreditamos na sua relevância e, caso seja possível incluir no planejamento, torna-se imprescindível a ampliação desses conceitos, principalmente, no que diz respeito à fusão nuclear. Porém, de qualquer forma, promovemos a compreensão da dinâmica das estrelas e, também, do Universo.

4º Encontro: 02 aulas (100 minutos)

Nestas aulas, trabalhamos a temática Teoria da Relatividade Geral. Devido à complexidade da fundamentação matemática desta Teoria, a abordagem que propomos é conceitual, centrada nas questões que envolvem mudanças de concepções sobre a gravidade e implicações sobre as Teorias cosmológicas. Para tanto, os alunos podem ser provocados com as seguintes perguntas:

- Por que os corpos se atraem?
- O que é a Gravidade?
- Qual a diferença da Gravidade newtoniana para Gravidade einsteiniana?

Após discussão baseada nesses questionamentos, o momento de organização do conhecimento traz definições e implicações desde a Teoria da Relatividade Geral (texto adaptado no capítulo “Referencial de conhecimento específico”). Sobre este tema abordamos:

- o Princípio da equivalência;
- a consequência da equivalência entre aceleração e Gravidade;
- as previsões da Relatividade Geral;
- o efeito da Gravidade sobre a luz;
- a Gravidade e tempo: desvio gravitacional para o vermelho;
- as ondas gravitacionais.

No processo de mediação, fazemos uso de *slides*, além de dois vídeos, sendo que o primeiro exibe uma cena do filme *Interestelar*, lançado em 2014 e dirigido por Christopher Nolan. Relata a história de um grupo de astronautas que viaja, através de um buraco de minhoca, em busca de um novo lar para espécie humana. Apesar de ser uma produção ficcional, é possível fazer recortes que representam a realidade, confrontada com a ficção. Nesse sentido, compactuamos com Mcdermott (1991 apud SOUZA, 2014) ao afirmar que:

levar o cinema para a sala de aula significa lançar-se ao desafio do inusitado, no sentido de quebrar com antigas práticas centradas num modelo tradicional empregado na educação. Constitui-se também numa tentativa de diminuir o intervalo existente entre o conteúdo ensinado pelo professor e o conteúdo aprendido pelo estudante. Dicotomia destacada por estudiosos do assunto, em particular no campo do ensino da Física (p. 2).

Como acreditamos no potencial mediador dos recursos audiovisuais, optamos por uma cena para coadunar o discurso do professor sobre o Princípio da equivalência. O recorte do filme selecionado encontra-se entre no intervalo dos minutos 40:00 e 49:11. Antes de exibir o trecho escolhido, suscitamos a questão:

- Vocês conhecem algum efeito da ausência de Gravidade no corpo humano?

Após a provocação, damos três minutos para as explicações dos discentes. Em seguida, acrescentamos algumas informações importantes sobre os efeitos fisiológicos da ausência de Gravidade, como: a debilitação do sistema imunológico, a atrofia muscular e a descalcificação óssea. Em nossa proposta, não aprofundamos nas discussões, o tema problematizado, pois não é nosso foco de trabalho. A inquietação abre oportunidade para uma eventual aula interdisciplinar entre Física e Biologia.

A seguir, faz-se a segunda provocação:

➤ Como viajar no espaço-tempo, durante um longo período, sem que os efeitos da ausência da Gravidade afete a estrutura óssea e muscular dos astronautas?

Mais uma vez, damos um tempo para que os discentes possam propor alguma solução viável para tal viagem. Esse período não deve ser rígido, cabe ao mediador, administrar o turno conversacional de cada aluno. A discussão é essencial, pois favorecem o processo de aprendizagem; no entanto, deve-se atentar para o tempo a fim de não comprometer a SD.

Para colaborar com a análise das possíveis soluções para o questionamento proposto, exibimos a cena de *Interestelar*, que mostra o acoplamento da nave dos astronautas com a estação especial, a qual orbita a Terra. Na sequência, o conjunto nave/estação, a partir de uma propulsão, inicia rotações até atingir a aceleração radial de 1g. Uma vez alcançada tal velocidade, a propulsão cessa e, como não há torque externo, o composto conserva o momento angular e a intensidade da aceleração radial. De acordo com o Princípio da equivalência da Relatividade Geral, são indistinguíveis as observações realizadas em um sistema de referencial acelerado daquelas ocorridas no interior de um campo gravitacional. Ou seja, no referencial da nave é impossível distinguir, a partir de qualquer experimento físico, químico ou biológico, a diferença entre este referencial e um campo gravitacional. Sendo assim, quando a nave atinge uma aceleração radial de 1g, a sensação dos astronautas é como se estivessem na superfície da Terra. Desse modo, evita-se que ocorra a atrofia muscular e a descalcificação óssea.

Essa primeira etapa do 4º encontro não deve extrapolar 30 minutos, para não comprometer a sequência das atividades programadas. A seguir, expomos aos alunos o efeito da massa sobre o tecido espaço-temporal e analisamos as consequências dessa deformação sobre massas e radiação. Vale ressaltar para os discentes que as diferentes concepções comparam a visão newtoniana da gravidade e o novo modelo proposto por

Einstein, com base na Teoria da Relatividade Geral. A importância de utilizar aspectos históricos, filosóficos e epistemológicos da Ciência, no processo didático-metodológico, é corroborada pela Base Nacional de Curricular Comum (BNCC) que destaca que:

é fundamental que esse corpo organizado de conhecimentos seja percebido em sua dinâmica sócio cultural. Trata-se de um conhecimento que se desenvolveu – e se desenvolve – em diálogo com o mundo natural e social, em um processo marcado por rupturas e continuidades, no qual conhecimentos anteriores, são, por vezes, aplicados. Mas em muitos exemplos, são superados ao longo do tempo (Brasil, 2015, p. 204).

Atendendo ao BNCC, fazemos uso de recursos audiovisuais para mediar nossa transposição didática. Nesta oportunidade usamos um recorte do 1º Episódio da série, da *BBC*, “Universo Elegante”⁴³. A produção baseada no livro com mesmo título, escrito e protagonizado por Brian Greene, o qual trata da Teoria das Cordas e a incansável busca dos físicos pela unificação das Leis da natureza em uma única. O seriado é muito interessante; no entanto, foge ao foco de nossa investigação, por esse motivo, usamos somente um recorte de nove minutos do 1º Episódio (09:03 a 17:57), em que o ficcionista descreve as distintas concepções da gravidade, introduzidas por Einstein, na Teoria da Relatividade Geral. A Teoria da Relatividade Geral⁴⁴ contempla uma excelente fonte geradora de futuras SDs, pois possibilita realizar discussões amplas e aprofundadas acerca deste objeto de conhecimento.

Planejamos para o próximo encontro destacar as evidências observacionais que caracterizam a elaboração da Teoria do *Big Bang*. Para enriquecer discussões posteriores, solicitamos que os discentes assistam em casa, ao 8º Episódio da série *Cosmos*, onde Neil deGrasse Tyson descreve a extraordinária história de Anni Jump Cannon, Henrietta Swan

⁴³Disponibilizado em <<https://www.youtube.com/watch?v=053Wje5f72I>> (Acesso em: 06 mar. 2016)

⁴⁴Sugestão de link de pesquisa <<http://spark.sciencemag.org/generalrelativity/?intcmp=collection-generalrelativity>> (Acesso em: 06 mar. 2016)

Leavitt⁴⁵ e Cecilia Payne⁴⁶. Três mulheres brilhantes que contribuíram para a fundamentação da Astronomia moderna⁴⁷.

Sugerimos ao professor que inclua, em seu planejamento, a exibição do 8º Episódio na sala de aula, visando garantir que todos os alunos assistam. A exibição deste episódio não foi realizada nesta SD já que implicaria em acrescentar um encontro e, na oportunidade, não obtivemos a disponibilidade do horário.

5º Encontro: 2 aulas (100 minutos)

Este encontro inicia-se com uma breve retomada do que foi construído nos anteriores. É importante destacar para os alunos o longo processo de construção do conhecimento humano e o papel da Ciência.

Na sequência, utilizamos o 5º Episódio, do documentário *A Saga do Prêmio Nobel*⁴⁸, com duração de 26 minutos. Trata-se de um breve relato bibliográfico de Einstein e seu legado. Além disso, a produção aborda a consequência da Relatividade Geral para o entendimento do Universo e as evidências observacionais que foram feitas do *Big Bang*, o modelo teórico que explica a evolução do Universo e o mais aceito pela comunidade científica.

Após a exibição deste episódio, abrimos para os debates. Os alunos são indagados sobre as impressões a partir do vídeo. Dado o tempo para os posicionamentos dos discentes, com o cuidado de anotar as dúvidas que surgem após a exibição, o docente retoma o discurso e estabelece as conexões necessárias, fundamentado no material de apoio, e, assim, sana as inquietações apresentadas. Para enriquecer esse momento de internalização do conhecimento histórico-científico, o mediador pode detalhar as contribuições de alguns estudiosos importantes que colaboraram com a Teoria do *Big*

⁴⁵Astrônomas estadunidenses, que trabalharam na *Harvard College Observatory* como voluntárias na equipe, composta só por mulheres, do astrônomo Edward Charles Pickering, medindo e catalogando, a partir de chapas fotográficas do observatório, o brilho das estrelas. Henrietta ficou famosa no período por seu trabalho sobre estrelas variáveis. Importante método de medição de distância das galáxias, que permitiu Edwin Hubble afirmar que certas nebulosas observadas, na verdade eram outras galáxias.

⁴⁶Cecilia Payne (1900-1979), astrônoma britânica, no Doutorado, defendeu que o hidrogênio seria milhões de vezes mais abundante do Universo que os metais. Sua obra lançou as bases da astronomia moderna.

⁴⁷Disponibilizado no *link* <<https://plus.google.com/110049350699561172013>> (Acesso em: 05 mar. 2016)

⁴⁸Disponibilizado no *Youtube*, no endereço eletrônico <<https://www.youtube.com/watch?v=VHDaW2yvfIE>> (Acesso em: 05 mar. 2016)

Bang (texto adaptado no capítulo “Referencial de conhecimento específico”), como: Edwin Powell Hubble, Georges Lemaître, George Gamow, dentre outros.

A utilização dos vídeos tem como objetivo de trazer os discentes para zona de desenvolvimento proximal. É com o auxílio do professor que os novos conhecimentos podem ser internalizados. Apesar de enfatizar a ideia do potencial dos recursos audiovisuais no processo de mediação do conhecimento, nada impede que o professor utilize outros recursos de mediação como: laboratórios de Física, espaços não formais, museus ou, ainda, algum observatório astronômico. Certamente, essas experiências enriquecem o processo de aprendizagem. Optamos por aplicar a SD no laboratório, uma vez que a instituição dispõe de espaços muito bem equipados.

A mediação propõe, no laboratório, a verificação dos espectros de emissão de alguns elementos químicos. É essencial deixar as bancadas preparadas para tal atividade, em cada uma deve ser colocada uma lâmpada contendo um determinado gás e dois espectroscópios para possíveis observações. Com o roteiro simplificado (Anexo B), contendo uma tabela com o espectro de emissão de algumas substâncias.

Dividimos a turma em grupos e solicitamos que se revezem nas bancadas a fim de identificar substâncias a partir do anexo disponibilizado. Esse processo de observação dos alunos não pode extrapolar 20 minutos, para não comprometer a sequência das discussões. Porém, para finalizar a atividade, convidamos os alunos para que se dirijam ao lado de fora da sala e pedimos que eles observem, com a ajuda do espectroscópio, a luz solar. Com base na observação, explicamos que as linhas escuras, apresentadas no espectro de luz solar, correspondem ao espectro de absorção dos gases frios da nossa atmosfera e revela-nos, a partir da análise espectral, seus componentes. A não realização dessa atividade não compromete o objetivo da SD, porém, a diversificação dos recursos de aprendizagem torna a aula mais interessante e enriquecedora.

A seguir, assinalamos a hipótese de que a expansão do Universo não deve ser interpretada como movimento das galáxias no espaço-tempo, mas como uma consequência de sua deformação. Na tentativa de facilitar o processo de mediação do conhecimento, enfatizamos a analogia utilizada de maneira recorrente para tratar desta questão, como o que ocorre com um balão a ser inflado. Consideramos que as galáxias são pontos sobre a superfície desse balão. É possível constatar que, a partir desta analogia, as distâncias dilatam-se na superfície, independente de qual seja a posição do observador. Não existe no Universo nenhum referencial privilegiado, ou seja, para qualquer um pode ser observado o movimento relativo de afastamento entre as galáxias. Levamos, nesta

oportunidade, a bexiga de inflar, decorada com bolinhas que representam as galáxias, a fim de demonstrar a ideia central da analogia proposta.

Ao final desse encontro, retornamos às perguntas feitas no início da aula:

- O que finalmente é/foi o *Big Bang*?
- Ele realmente aconteceu?
- Quais evidências levaram à construção desse modelo teórico?

Deixa-se o tempo restante da aula para livre explanação dos alunos. Na oportunidade, registramos, através de gravação de áudio e vídeo, as falas dos alunos para utilização na análise de resultados. Como atividade para casa, solicitamos a leitura do artigo “A Cosmologia”⁴⁹, de Rogério Rosenfeld (2005), publicado na revista *Física na Escola*. A leitura do texto reforça os conhecimentos propostos neste encontro, além de trazer os novos desafios da Cosmologia.

Após essa abordagem, que reforça o que foi apresentado no vídeo exibido no início da mediação, utilizamos outro *site*⁵⁰, onde é apresentada a evolução temporal desde o *Big Bang* até os tempos atuais, de maneira lúdica e interativa. Destacamos a importância da desconstrução da ideia de “grande explosão” para o momento inicial do Universo, em detrimento do reforço da concepção, segundo o modelo, de um início muito denso, de alta concentração de energia e extremamente quente.

6º Encontro: 2 aulas (100 minutos)

Iniciamos este encontro exibindo o 13º Episódio da série *Cosmos*, no qual Neil deGrasse Tyson aborda os novos desafios da Cosmologia do século XXI. Descobertas realizadas, ainda no século passado, mostram que, apenas 5% do Universo, é constituído por matéria bariônica⁵¹, já 95% restante segue desconhecido. Surgem, então, as hipóteses

⁴⁹Sugerimos que o professor disponibilize o material impresso, mas caso não seja possível, segue o endereço eletrônico onde o texto está disponibilizado no *link*: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/cosmologia.pdf>> (Acesso em: 06 mar. 2016)

⁵⁰Disponibilizado no *link* <<http://www.publico.pt/25anos/historia-do-universo-em-13-momentos>> (Acesso em: 06 mar. 2016)

⁵¹Também pode ser chamada de “matéria comum”, é composta por: prótons, nêutrons e elétrons.

sobre o que representa essa alta porcentagem, além das observações astronômicas que as reforçam.

A exibição desse episódio deve ser dividida em duas partes. Na primeira etapa, assistir aos primeiros 22 minutos. Em seguida, os questionamentos:

- O que é matéria escura?
- O que é energia escura?
- Quais evidências sustentam a hipótese da existência da matéria e energia escuras?

É imprescindível disponibilizar um momento para que os alunos possam expor o que foi compreendido e permitir que as dúvidas surjam, a partir da leitura do artigo, de Rogério Rosenfeld, e do audiovisual exibido. Após encerrar essa etapa, exauridas as discussões, exibimos a segunda parte do 13º Episódio de *Cosmos*. Após projetá-la, mais uma vez, abrimos espaço para os alunos se manifestarem, provocando-os a expor suas opiniões, já que Neil deGrasse Tyson descreve a foto da Terra, denominada de “pálido ponto azul”, tirada pela *Voyager1*⁵², ao passar por Netuno. O retrato tornou-se fonte inspiradora para uma bela reflexão de Carl Sagan⁵³ sobre a espécie humana e a importância de nossa existência para o Cosmos. Como atividade para o próximo encontro, os alunos, organizados em duplas, devem fazer uma produção textual e relatar o que se compreendeu sobre a Teoria do *Big Bang*.

7º Encontro: 1 aula (50 minutos)

Para finalizar as atividades, solicitamos aos alunos que escrevam um breve relato que exprima suas impressões sobre a metodologia utilizada no ensino da Teoria do *Big Bang*. Dá-se, então, 30 minutos para a produção e pedimos que, também, seja entregue o texto elaborado em dupla.

⁵²Sonda espacial norte-americana lançada em 1977 com a missão de estudar Júpiter e Saturno, e posteriormente, o espaço *Interestelar*. A *Voyager1* carrega consigo um acervo de informações sobre o nosso planeta e nossa cultura para outras civilizações.

⁵³Carl Edward Sagan (1934-1996), cientista norte-americano, foi um dos primeiros a estudar o efeito estufa em escala global, por meio de suas observações da atmosfera de Vênus. Conhecido por seus livros de divulgação científica e pela 1ª versão da série televisiva, *Cosmos: Uma Viagem Pessoal*, de 1980.

Avaliação

Os instrumentos usados para avaliação dos estudantes são:

- participação nos debates;
- produções textuais, a partir das leituras recomendadas e das discussões em aula.

Dos cinco pontos atribuídos à SD, ficou definido que:

- 1,0 ponto – à participação nas discussões durante as aulas;
- 1,0 ponto – aos alunos que tivessem 100% de frequência, nos sete encontros;
- 3,0 pontos – às produções de textos que foram solicitadas no decorrer das aulas.

RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Sequência Didática (SD) foi aplicada em 13 aulas, de 50 minutos, na IV Unidade do ano letivo de 2015, em uma das turmas de 3º ano do curso técnico em Mecânica, composta por 20 alunos, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Campus de Salvador. Em encontro que antecedeu o início da aplicação da SD, delineamos como seria realizado o estudo. Posteriormente, foi feita a leitura Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e informamos a necessidade da assinatura no documento, pelos próprios alunos, caso já tivessem completado a maioridade, ou pelo responsável, se o aluno fosse menor de 18 anos. Em seguida, entregamos o TCLE e solicitamos que o documento fosse devolvido, no próximo encontro, que coincidiria com o início da aplicação da SD.

Vale lembrar que, em encontros anteriores, já havíamos sinalizado a formalização do acordo de participação da turma. Mas, que lhes seria reservado o direito de não cooperação, sem qualquer prejuízo acadêmico. Felizmente não tivemos qualquer tipo de problema dessa natureza e contamos com a colaboração de 100% da turma. Discutimos, previamente, como seria realizada a avaliação de desempenho da Unidade. Ficou acordado que 50% da pontuação seria destinada ao projeto, já o restante da pontuação, seria distribuída entre o laboratório e uma avaliação discursiva sobre outros objetos de aprendizagem que fazem parte da ementa da disciplina e previstos para esta unidade.

Aos discentes, foi alertada a importância da frequência durante as aulas para nossa avaliação qualitativa, uma vez que a ausência nos encontros implicava na falta de produção textual a qual corresponde ao maior peso da pontuação. Também, acordamos que, caso o aluno faltasse e deixasse de entregar algum dos textos solicitados, faríamos uma 2ª chamada, para repor a nota perdida. Na oportunidade, tivemos 100% de frequência em todas as aulas destinadas à aplicação da SD.

Iniciamos a aplicação da SD, ouvimos e registramos as falas dos alunos. Após perguntar se eles já ouviram falar na Teoria do *Big Bang* (TBB) e, no caso de resposta positiva, se sabiam o que esta teoria significava ou explicava. De maneira geral, todos disseram já ter ouvido algo sobre a TBB; porém, o que predominou, em relação ao entendimento sobre o modelo cosmológico, limitou-se à ocorrência de uma grande explosão na origem do Universo. Poucos se arriscaram em expor maiores explicações sobre TBB; e, aqueles que o fizeram, demonstraram uma fragilidade na fundamentação dos argumentos, misturavam aspectos que possuíam algum sentido, do ponto de vista

teórico, com argumentos que não tinham o menor sentido. Expomos abaixo, algumas dessas respostas⁵⁴:

ALUNO A	<i>No início, todo Universo estava concentrado em um espaço muito pequeno. Nesse espaço muito pequeno havia gases, partículas e muita energia que se espalharam pelo espaço, após a grande explosão. Com o tempo, foram sendo formadas as estrelas, as galáxias e os planetas, até chegar “nos” dias de hoje.</i>
ALUNO B	<i>O Universo surgiu de um átomo que explodiu e gerou, posteriormente, tudo que existe no Universo.</i>
ALUNO J	<i>No começo, o Universo era formado por gases muito quentes que, devido às elevadas temperaturas, “explodiu” e, “se expandiu” pelo espaço formando tudo que existe até hoje.</i>
ALUNO S	<i>Mesmo sem acreditar, eu ouvi falar que essa Teoria diz que o Universo começou do tamanho da cabeça de um alfinete e era formado por alguns gases e partículas de poeira. Após a explosão, os gases e a poeira “se juntaram” para formar as coisas que observamos no céu</i>
ALUNO E	<i>No começo só existia fótons, prótons, elétrons, nêutrons e energia, confinados em um espaço do tamanho de um átomo. Esse material “se espalhou” formando as primeiras estrelas, galáxias e o próprio tempo. Posteriormente, essas estrelas explodiram e o material expelido delas, geraram outras estrelas e galáxias, além de planetas e outros astros que existem no Universo [...] inclusive, nós mesmos somos “feitos” das partículas que foram expelidas por essas estrelas, sabia professor?</i>

Ao analisar as respostas dos discentes, percebemos pouca coerência e quase nenhum conhecimento sobre a TBB. Pretendemos com algumas questões relevantes, nos saberes compartilhados pelo grupo, aperfeiçoar os velhos saberes e ensinar novos saberes a partir do desenvolvimento desta proposta de intervenção didática. Nesse sentido, ganham destaque:

⁵⁴ As respostas foram gravadas em áudio e vídeo e, posteriormente, transcritas para essa dissertação.

- a quase unanimidade de que existiu no início uma grande explosão, responsável pela expansão do Universo;

- nenhum aluno vinculou o espaço-tempo à expansão do Universo.

É possível interpretar, a partir das palavras dos discentes, que a concepção que possuem sobre o espaço, é a noção clássica de espaço absoluto, em que os eventos da natureza ocorrem com o passar do tempo. Ou seja, a expansão do Universo sucede dentro de um espaço pré-existente. Após esse momento de interação de extrema importância para nossa pesquisa, questionamos se eles acreditavam na TBB. Respeitamos o direito individual de não responder à problematização, mas estimulamos a participação dos alunos, destacamos abaixo algumas das respostas:

ALUNA H	<i>Não acredito, pois sou criacionista e, portanto, acredito que Deus é o criador de tudo.</i>
---------	--

Obs: Essa resposta foi seguida pela maioria dos discentes.

ALUNO E	<i>Acredito sim, porque toda teoria científica precisa ser testada antes de ser aceita. Como a TBB é aceita pelos cientistas, certamente, ela está correta.</i>
---------	---

ALUNOS: A, B, S, J e N	<i>Não acredito nem descredo, tenho pouca informação sobre o assunto.</i>
---------------------------	---

O discurso do aluno E tornou-se frutífero para indagações sobre uma questão essencial da natureza da Ciência. Nessa perspectiva, aproveitamos a oportunidade e perguntamos: quais testes podem ser propostos para validar uma teoria? A quais provas a TBB foi submetida para que pudesse ser aceita pelos cientistas? Na verdade, essas perguntas assemelham-se às problematizações que delineamos na SD. Algumas respostas às indagações propostas seguem a baixo:

ALUNO E	<i>Em relação aos testes, todas as teorias precisam ser validadas por experimentos capazes de serem reproduzidos por diferentes grupos de cientistas. A TBB foi comprovada em experimento realizado no acelerador de partículas que descobriu a partícula de Deus.</i>
---------	--

ALUNOS (AS) A, B, G, I, J, M, R e S	<i>Toda teoria precisa de experimentos, mas não sei dizer qual experimento valida a TBB.</i>
-------------------------------------	--

Os demais alunos disseram que não sabiam responder a estas perguntas e, conseqüentemente, não proferiram nenhuma opinião. Ficou nítido, na fala daqueles que se manifestaram, uma visão restrita sobre a natureza da Ciência e dos métodos de validação de uma teoria; além de misturarem fatos científicos que certamente foram vistos em algum meio de comunicação de massa, gerando, assim, concepções alternativas.

Para finalizar esse primeira etapa de problematização, perguntamos se eles conheciam alguma outra teoria sobre a origem e evolução do universo. As respostas elencadas foram:

A MAIORIA DA TURMA	Sim, a Teoria da Criação.
UM GRUPO MENOR	Não, só conheço a Teoria do <i>Big Bang</i>

Notamos, nas respostas dos alunos, as influências históricas, sociais e culturais. Teorias científicas e crenças religiosas misturam-se, e fazem parte de um legado de percepções humanas do Mundo. Um número significativo da turma não acredita na TBB; contudo, a refutação feita à Teoria não tem qualquer relação com a Ciência. A falta de credibilidade do modelo cosmológico dá-se por questões de natureza religiosa ou mítica. Com isso, observamos um cenário promissor para o desenvolvimento da temática, retomamos algumas perguntas que foram realizadas neste primeiro encontro, pois, objetivamos avaliar a potencialidade desta proposta de ensino-aprendizagem.

Na SD, afirmamos que a discussão sobre a origem do Universo sempre esteve no cerne dos questionamentos humanos, independentemente do grupo social e cultural, e do momento histórico. Contudo, vale destacar que essa temática já causou transtornos para muita gente na história da humanidade, muitos foram de encontro ao que era socialmente compartilhado ou imposto. Perguntamos, então, sobre a importância de ensinar as teorias sobre a origem e evolução do Universo na escola, a fim de ampliar a visão crítica dos discentes sobre o tema; porém, sem desrespeitar as concepções prévias compartilhadas em seus meios sociais. Todos os alunos sinalizaram positivamente para o ensino dos modelos cosmológicos no espaço escolar, o que reforça a responsabilidade e relevância da aplicação desta SD.

A fim de intensificar esse posicionamento do grupo, exibimos um vídeo que aborda a perseguição da Igreja Católica ao monge Giordano Bruno no século XVI, por defender a ideia de que a Terra não era o centro do Universo, contrapondo-se ao que era socialmente compartilhado naquela época e no grupo social a que fazia parte. Após a exibição da película, os alunos, espontaneamente, expressaram a expectativa positiva para as próximas aulas. Entregamos, ao final do primeiro encontro, o texto intitulado “As concepções de Descartes, Newton e Kant sobre o Universo. Solicitamos a leitura para discussão no próximo encontro” (texto adaptado no capítulo “Referencial de conhecimento específico”).

Iniciamos o segundo encontro indagando os alunos: Vocês conhecem alguma Teoria que antecedeu a Teoria do *Big Bang*?

Passamos a fala aos alunos, a maioria reportou-se ao texto que foi disponibilizado, e disse não saber da existência das teorias explicitadas no texto. Contudo, em fala quase que unanime, consideraram as teorias de Descartes e Kant muito confusas e, ainda, ficaram muitas dúvidas nesta leitura. Era o esperado, pelo caráter filosófico das cosmogonias abordadas. Ao prever esse fato, preparamos uma apresentação em *Power point*, no qual abordamos ideias centrais do pensamento de Descartes, Newton e Kant. Destacamos, entretanto, a visão clássica de espaço absoluto, dos três pensadores, e o vínculo de suas propostas com Deus.

Após a intervenção, os alunos afirmaram que as dúvidas que surgiram durante a leitura do texto foram sanadas e acharam muito interessante e geniosa as explicações de Descartes para a formação do Sistema Solar. E, ainda, perceberam a evolução conceitual da teoria de Descartes para a kantiana. Kant, a fim de justificar o equilíbrio observado no céu, concebe a existência de uma grande massa no centro do Universo, tudo gira em torno dela e, ainda, é regida pela lei newtoniana da gravitação. Finalizamos essa etapa exibindo um vídeo que mostra um pouco da vida de Newton e sua obra. Na película, destaca-se a relação de amizade com Edmond Halley e a de desafeto com Robert Hook. Entretanto, o objetivo da exibição do vídeo, é mostrar a evolução do conhecimento humano sobre o céu, explicitada no poder de previsibilidade das leis newtonianas, importante marco, para buscarmos uma teoria que não estivesse vinculada a qualquer intervenção sobrenatural. Para o próximo encontro, foi solicitado que os alunos produzissem um texto relatando o que foi discutido e deveriam destacar: as cosmogonias que foram abordadas na oportunidade. Além disso, solicitamos que eles assistissem, em

casa, ao 4º episódio da série *Cosmos*, onde a Teoria da Relatividade Restrita (TRR) é abordada. Para isso, foi disponibilizado o link onde a série poderia ser assistida *on line*.

Iniciamos o terceiro encontro, perguntando se os alunos assistiram ao 4º episódio da série *Cosmos* como foi solicitado na aula anterior. Verificou-se, entretanto, que só dois alunos assistiram. A justificativa dada por não assistirem ao vídeo, decorre da demanda de outras disciplinas, no mesmo período. Fato parecido aconteceu com a leitura do texto que usamos na aula anterior, pelo menos 45% da turma não leu o texto, o que, de certa forma, prejudicou a discussão.

O objetivo do vídeo era propor algum conhecimento prévio sobre a TRR, a fim de promover maior participação dos discentes na problematização, que consta em nossa SD; no entanto, poucos cumpriram com o solicitado. Registramos o ocorrido e partimos para contextualização histórica das questões que envolviam a TRR. Para tanto, preparamos *slides* para facilitar a mediação. No decorrer da aula, tratamos dos postulados da TRR e de suas consequências sobre velhas concepções do espaço, do tempo e da simultaneidade. Após esclarecer sobre a dilatação temporal, demonstramos como deduzir sua relação e exibimos um vídeo que trata do paradoxo dos gêmeos. Concluída a película, alguns alunos sentiram-se à vontade para elaborar alguns questionamentos. Destacamos abaixo uma das inquietações que foram explicitadas:

ALUNO U	<i>Professor, se o passageiro da nave que está viajando com velocidade próxima a da luz, filmasse tudo que acontece dentro da nave durante a viagem. Assistindo a filmagem, é possível notar algum evento incomum?</i>
---------	--

Feita a pergunta, me dirigir à turma indagando o que eles achavam e se alguém teria alguma resposta para pergunta do colega. Após um rápido burburinho, a aluna M pediu a palavra e respondeu: “*Se a câmera está no referencial da nave, segundo o que o professor disse, ela não irá registrar nenhuma anomalia, já que ela compartilha o movimento da nave*”. Perguntei se alguém mais concordava com a fala da colega e se alguém tinha algo mais a acrescentar. Como ninguém se manifestou, perguntei ao aluno U se a resposta da aula M satisfazia sua dúvida. A resposta foi positiva, mas solicitando no olhar minha confirmação. Retomei a fala parabenizando os dois alunos pela participação e enfatizei que a pergunta não era fácil de responder, contudo, a resposta dada pela aluna M também me pareceu coerente, em concordância com o que prevê a TRR. A outra pergunta foi:

ALUNO E	<i>Professor, a luz sofre algum efeito relativístico, ou só objetos massivos que viajam com velocidades próximas a velocidade da luz?</i>
---------	---

Mais uma vez agradecemos a participação, e transferimos o questionamento para turma. Houve burburinho, mas ninguém se habilitou a responder a pergunta. Retomamos mais uma vez a fala e, destacamos o grau de dificuldade da pergunta. Contudo, apontamos a necessidade de uma melhor formulação do questionamento, pois o aluno E não deixa claro qual tipo de efeito relativístico ele se referia. Pois se estivermos tratando do desvio sofrido pela luz ao passar próximo a um grande campo gravitacional ou do deslocamento do comprimento de onda da luz para o vermelho na presença de um campo gravitacional, podemos dizer que sim, a luz sofre efeitos relativísticos, mas esses fenômenos são explicados pela Teoria da Relatividade Geral (TRG), que foi abordada no quarto encontro. Na oportunidade falamos ainda da contração espacial destacando a diferença conceitual da contração espacial de Lorentz-FranzGerald e a de Einstein para o mesmo fenômeno. Fizemos uma breve menção aos efeitos relativísticos sobre a massa e a energia, mas sem maiores detalhes.

O quarto encontro inicia-se com perguntas sobre a gravidade. O objeto dessas perguntas é perceber quais saberes os alunos dispõe sobre este objeto do conhecimento e avaliar posteriormente, se após nossa mediação sobre a TRG, houve alguma mudança de concepção. Sobre a pergunta o que é a gravidade, obtivemos as seguintes respostas:

A MAIORIA DOS ALUNOS	<i>É uma força que atua nos corpos puxando eles para baixo</i>
ALUNOS(AS) B, F, J, O e R	<i>É uma força capaz de manter um corpo orbitando outro corpo maior, ou capaz de puxar corpos menores para superfície de corpos maiores</i>
ALUNO E	<i>É uma interação mediada pelo campo gravitacional</i>

A outra problematização tratava se os alunos sabiam das diferenças que existiam entre concepção newtoniana e einsteiniana, a respeito da Gravidade. Todos afirmaram ignorar quais seriam essas desconformidades, pois ou não conheciam nada sobre a Teoria da Gravidade de Einstein, ou sabiam muito pouco. Iniciamos, então, a mediação sobre a

TRG, a partir de uma abordagem contextualizada historicamente que a antecedeu. Em seguida, conceituamos o Princípio da Equivalência. Para tanto, fizemos uso de *slides* e, assim, facilitar a processo de mediação. Formalizado o conceito, propusemos uma problematização: como viajar no espaço-tempo, durante um logo período, sem que os efeitos da ausência da Gravidade afete a estrutura óssea e muscular dos astronautas?

Antes de colher soluções propostas pelos alunos, falamos um pouco sobre alguns efeitos fisiológicos devido à baixa gravidade e, conseqüentemente, a inviabilidade, em princípio, de seres humanos viajarem durante um tempo muito longo pelo espaço sideral. Antes de passar a palavra para os alunos, exibimos um trecho do filme *Interstellar* com o objetivo de corroborar com a elaboração de argumentos. O referido trecho com todos os detalhes encontra-se na SD, sendo assim, não repetiremos aqui o que ocorre na cena destacada. Ao fim da exibição, demos um tempo para que eles compartilhassem suas opiniões, em seguida, passamos a fala para os alunos e obtivemos as seguintes soluções:

<i>Alunos(as) B e E</i>	<i>Criar uma gravidade artificial, como no filme. O movimento de rotação de uma nave produz uma força centrífuga e, pelo Princípio da Equivalência, surgiria uma gravidade artificial.</i>
<i>Aluno A</i>	<i>Se a nave sair girando pelo espaço com aceleração radial de $1g$, seria possível criar uma gravidade artificial graças ao poder da força centrífuga.</i>
<i>Alunos U</i>	<i>A gravidade é uma aceleração dos corpos em “uma” certa direção e o movimento de rotação pode gerar uma aceleração centrífuga, o que resulta na compensação da não existência da gravidade terrestre.</i>
<i>Alunos F, J e R</i>	<i>Se “botar” a nave “pra” girar, a força centrípeta impulsiona os astronautas contra uma determinada face da nave, gerando uma sensação que supriria totalmente a gravidade. A ação é viável, tanto em sua saída da inércia, quanto em sua manutenção; já que no espaço não tem nenhuma resistência contrária ao movimento.</i>

O momento de exibição do filme foi muito bem aceito pelos alunos, já que muitos já haviam assistido em outra oportunidade. As respostas que destacamos foi resultado de uma ação coletiva de grupos de discussão, formados, naturalmente, após a película. Essa ação coletiva mostrou-se mais eficiente para a fomentação da participação de alguns alunos que apresentavam pouco engajamento até aquele momento da aplicação da SD. Apesar de alguns equívocos conceituais, avaliamos as respostas como boas, demonstrou que houve compreensão do Princípio da Equivalência.

Retomamos a mediação e, mais uma vez com o auxílio de *slides*, falamos de algumas predições da TRG. Com a abordagem de HFC, destacamos a importância da

confirmação dessas previsões para validação da TRG. Após esse momento de contextualização, exibimos um recorte do 1º episódio da série *Universo Elegante*. Posteriormente, reavemos a problematização que foi sugerida no início desse encontro, com a indagação se os alunos sabiam a diferença entre a gravidade newtoniana e einsteiniana. A maioria posicionou-se positivamente, principalmente, a respeito da questão que envolve a ação instantânea da força gravitacional, proposta pela teoria newtoniana, e a teoria da deformação do tecido espaço-temporal causado por uma grande massa. Contudo, na ausência dessa grande massa, uma perturbação no tecido cósmico propaga-se com a velocidade da luz. Segundo os estudantes, a elucidação sobre as questões que envolvem a gravidade, foi facilitada pelo vídeo escolhido para mediação. Um discurso dos alunos recorrente após a exibição do vídeo foi:

- *Então é isso que é uma onda gravitacional, não é?*

Para finalizar mais um encontro, destacamos a relevância de falar sobre a TRR e TRG de Einstein, a fim de compreender a Teoria do *Big Bang*. Alguns alunos, inclusive, posicionaram-se, afirmaram certa ansiedade para entender o que é a TBB. Para casa, os alunos deviam assistir ao 8º episódio da série *Cosmos*. Algumas questões abordadas nesta película são utilizadas na aula seguinte.

O quinto encontro inicia-se com nossa fala, fizemos um breve resumo do que já havia sido construído até aquele momento. Em seguida, exibimos o documentário *A Saga do Prêmio Nobel*. Findada a apresentação do vídeo, compartilhamos os saberes. Elaboramos alguns *slides*, embasados no Texto 4 (texto adaptado no capítulo “Referencial de conhecimento específico”), e reforçamos as informações que foram explicitadas no vídeo. No desenvolvimento de nossa mediação surgiram algumas inquietações, como por exemplo, quando falamos das observações de Edwin Powell Hubble que levaram à constatação de que o Universo estava em expansão, o aluno A fez a seguinte pergunta:

- *Como determinar onde termina nossa galáxia?*

Agradecemos a participação do discente, e deixamos claro que não tínhamos certeza da nossa resposta, pois seria necessário um estudo mais aprofundado de Astronomia, mas acreditávamos que a determinação do tamanho de nossa galáxia decorria do mesmo método desenvolvido por Henrietta Leavitt, ou seja, a partir das

observações das variáveis ceifeidas que, na oportunidade, explicou-se a importância dessas estrelas para determinação das distâncias intergalácticas. O aluno não se deu por satisfeito com minha argumentação e replicou:

- *Como podemos ter certeza se a variável ceifeída está em nossa galáxia ou fora dela? Como saber quais são os limites de cada galáxia?*

A turma se mostrava cada vez mais empolgada com a temática e, esse entusiasmo refletia-se em perguntas bem trabalhadas. Nem sempre as respostas estavam na ponta da língua, contudo, levamos alguns livros para aula, que nos auxiliaram na resposta de algumas perguntas. Esta, por exemplo, foi sanada ao lermos o livro de divulgação científica, intitulado *Universo: teorias sobre sua origem e evolução*, de Roberto Andrade Martins (2012). Segundo o estudioso:

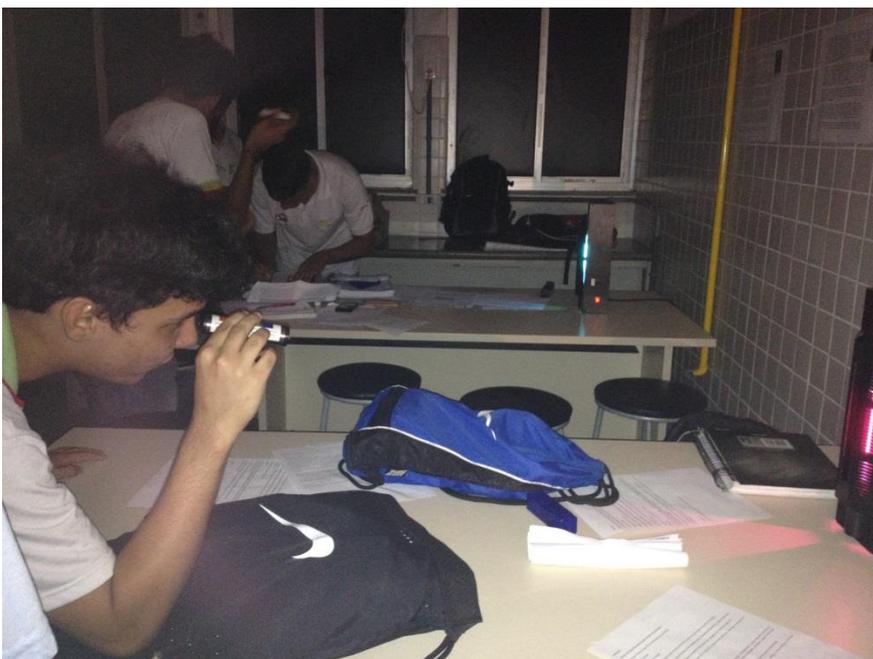
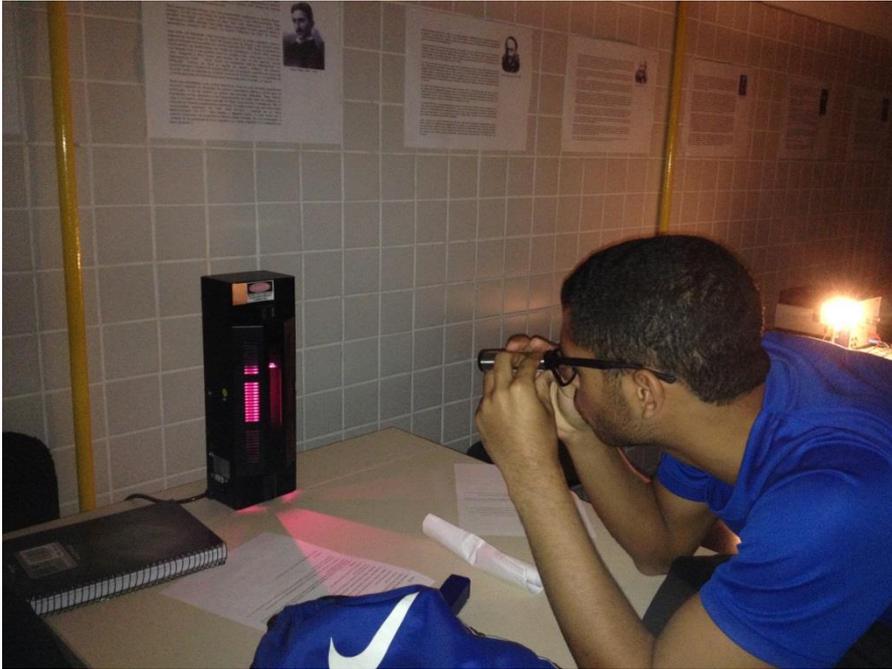
Não é possível medir-se diretamente a distância das galáxias ou a velocidade das estrelas e das galáxias. Os astrônomos avaliam essas distâncias e velocidades indiretamente. Para as estrelas mais próximas da Terra, mede-se a distância por 'paralaxe', isto é, observando-se as mudanças aparentes de posição das estrelas à medida que a Terra vai e volta em sua órbita. Uma vez que se mediu a paralaxe de algumas estrelas e elas foram bem estudadas, foi possível determinar a distância de outras estrelas semelhantes a essas comparando suas grandezas aparentes, ou seja, a intensidade da luz que recebemos dessas estrelas: o brilho aparente da estrela é inversamente proporcional ao quadrado da sua distância até nós. Suponhamos que duas estrelas são do mesmo tipo, mas que uma delas parece ser cem vezes mais brilhante do que a outra. Ela deve estar a uma distância dez vezes maior do que a outra. Se soubermos a distância da primeira, determinaremos a distância da outra. Mas como podemos saber se uma estrela é, de fato, do mesmo tipo que outra? Nem sempre isso é possível. Há, no entanto estrelas especiais que são utilizadas para isso. Um dos tipos mais importantes são as 'ceifeidas'. Elas são estrelas pulsantes, que possuem um brilho variável: sua luminosidade aumenta e diminui periodicamente, oscilando. Descobriu-se que as ceifeidas, com o mesmo tempo de oscilação, possuem também o mesmo tamanho, massa e luminosidade. Por isso, se forem observadas duas ceifeidas de mesmo tempo de pulsação, mas brilhos diferentes, isso permite comparar as suas distâncias até nós. Utilizando-se esse e outros "truques", os astrônomos conseguem determinar, indiretamente, a distância das estrelas até nós, e também a distância das galáxias (p. 178).

Após a leitura, perguntamos ao aluno A se sua dúvida já havia sido sanada, ele respondeu positivamente. Registrou ainda que o recorte do texto proposto foi esclarecedor. Demos continuidade a nossa fala, sempre deixando claro que o grupo tinha

total liberdade para interromper, caso achasse necessário. Esse encontro ocorreu dentro do laboratório “E” do IFBA. Deixamos as bancadas previamente preparadas para observarmos alguns espectros de emissão e compará-los a uma tabela que foi disponibilizada, juntamente, com o roteiro da atividade de laboratório. Porém, o tempo ficou curto e não realizamos a atividade experimental, ou seja, só utilizamos o ambiente e os equipamentos para observação.

Mesmo sem fazer tudo que, a princípio, estava programado, esse momento foi extremamente proveitoso para os alunos, pois eles puderam ter uma breve noção de como se determina as substâncias que compõem as estrelas. Essa observação foi utilizada quando reforçávamos o segundo pilar da TBB; a abundância de substâncias leves no Universo. Enfatizamos, na oportunidade, o trabalho de Cecilia Payne, que foi a primeira pessoa a pesquisar e admitir que hidrogênio e hélio sejam os elementos mais abundantes no Cosmos. Assinalamos, também, que a Teoria do *Big Bang*, previa a existência dessa abundância. Com a permissão dos alunos, fotografamos o período de observação dos espectros de emissão.





Por fim, convidamos os alunos para concluirmos o quinto encontro, do lado fora do laboratório, onde eles poderiam observar o espectro de absorção da atmosfera terrestre. Por conta do tempo que se esgotou, pedimos aos discentes que anotassem as dúvidas remanescentes para retomarmos no próximo encontro. Na oportunidade, entregamos o artigo *A Cosmologia*, de Rogério Rosenfeld, publicado em 2005, e solicitamos que o mesmo fosse lido como atividade para casa.

Iniciamos nosso penúltimo encontro retomando questões que ficaram pendentes na aula anterior. Em nossa intervenção, prosseguimos com o destaque dado às evidências que levaram à Teoria do *Big Bang*. Porém, ao falarmos sobre a expansão do Universo observada por Edwin Hubble, a partir do desvio espectral para o vermelho (*redshift*), para comentar um pouco mais sobre esse desvio. Acolhemos o pedido desses discentes e explicamos o efeito doppler para o som e estendemos para a luz. Sanadas as dúvidas, demos sequência e assinalamos a ideia de Georges Lemaître, um dos primeiros cientistas a propor que tudo no Universo surgiu a partir de um átomo primordial. Usamos, neste momento, a analogia da bexiga enchendo, para destacar a ideia de que não existe lugar privilegiado no Universo, ou seja, em qualquer lugar que, hipoteticamente, estejamos, será observado o afastamento das galáxias. Logo, tratamos da nucleossíntese primordial de Gamow e a consolidação da TBB. Para finalizar, falamos da radiação cósmica de fundo.

Após concluirmos essa retomada, utilizamos um endereço eletrônico⁵⁵ para destacar a importância da desconstrução da ideia de “grande explosão” para o momento inicial do Universo, em detrimento do reforço da concepção, segundo o modelo cosmológico do *Big Bang*, de um início muito denso, de alta concentração de energia e extremamente quente. Além disso, com ajuda do *site* que, de maneira bem organizada mostra as fases de desenvolvimento do Cosmos, enfatizamos que o próprio espaço-tempo é um resultado da expansão do Universo. Essa fala causou certo espanto nos alunos que não viam o menor sentido nessa ideia de criação do espaço durante a expansão. A aluna S então perguntou:

- *Quer dizer que o Universo não se expande no espaço-tempo?*

- *Quer dizer que o espaço-tempo é consequência da expansão?*

Balançando a cabeça positivamente e sorrindo, respondemos a indagação. Vale lembrar que a utilização do endereço eletrônico com a cronologia do *Big Bang* estava prevista para aula anterior; contudo, tivemos que trazer a exibição do *site* para este penúltimo encontro.

Após essa etapa de reorganização, retomamos o que estava previsto para sexto encontro. Com os equipamentos já montados, previamente, exibimos o 13º episódio de

⁵⁵ Endereço eletrônico utilizado: <http://www.publico.pt/25anos/historia-do-universo-em-13-momentos> (Acesso em: 3 mar 2016)

Cosmos. Dividimos a exibição em duas etapas e, após a primeira parte ter sido assistida, indagamos: O que é matéria e energia escura? Quais evidências sustentam a hipótese da existência da matéria e energia escuras?

Os alunos que se manifestaram, afirmaram que não restam dúvidas sobre a hipótese da energia e material escura, pois o artigo que foi entregue na aula anterior, juntamente, com o vídeo que foi assistido, esclareceram as questões. Restou-nos, portanto, falar um pouco mais sobre as indagações que formularam as hipóteses da existência da energia escura, além de explicitar o que é matéria bariônica e não-bariônica. Em certo momento de nosso discurso, o aluno E perguntou: “Professor, é provável que a detecção da matéria escura seja feita através de um detector de ondas gravitacionais, já que essa matéria, assim como a bariônica, tem propriedades atrativas?”

Agradecemos o aluno pela pergunta e falamos que questões que envolvem a matéria e energia escura são objetos de pesquisas na atualidade e, ainda, levaremos um tempo para entender melhor a dinâmica. Nessa perspectiva, outra pergunta foi feita pelo aluno N: “Professor, a detecção das ondas gravitacionais seria uma predição da teoria da existência da matéria escura?”

Ao retomarmos a palavra, perguntamos se alguém gostaria de responder a indagação do colega. Não obtivemos resposta. Mas uma vez a explicação ficou sob nossa responsabilidade, respondemos ao questionamento negando que a detecção feita, recentemente, seria uma previsão da existência da matéria escura. Tudo que se refere à matéria escura e a energia escura são hipóteses que precisam ser comprovadas. Finalizamos nossa aplicação com a segunda parte do 13º episódio da série *Cosmo*, onde Carl Sagan leva-nos a refletir sobre a nossa existência.

No último encontro, retomamos a pergunta inicial sobre o que eles sabiam sobre a Teoria do *Big Bang*. Desta vez, solicitamos que se expressassem por escrito e em duplas. Destacamos algumas respostas:

O Big Bang é a teoria mais bem aceita dentro da comunidade científica em relação ao início do universo. A base da teoria foi descoberta por Edmund Hubble que, nas suas observações percebeu que o universo estava em expansão, o que tornaria possível as galáxias estarem mais próximas em um instante anterior, ou até mesmo em um único ponto, desmentindo a teoria do estado estacionário que defendia um universo estático. Essa diferença de espaço entre as galáxias é explicada pela Relatividade Geral, proposta por Albert Einstein, a qual defende que após a explosão (liberação gigantesca de energia) do big bang, deu-se início ao espaço-tempo, este que continua a se expande por consequência da ação inicial (Dupla 1).

O big bang foi uma teoria proposta após constatações feitas por astrónomos de que os cosmos estaria se expandindo ao longo dos anos, com destaque para as observações de Hubble sobre o red shift, que levava a imaginar que em algum momento houve um aglomerado em que estava contida toda a massa e energia do universo, o átomo primordial, marcando o início do espaço-tempo.

Porém essa teoria foi mais bem aceita que as outras teorias da época, depois da captação de microondas e cálculos teóricos antecessores que se confirmaram em cálculos empíricos posteriores, fazendo com que a teoria do Big Bang sobrepujasse as outras teorias (Dupla 02).

A principal mudança foi a de agora ter noção de que a teoria não pode ser tratada no sentido comum da palavra, e sim que ela é fortemente embasada, não apenas teórica e mentalmente, mas com observações empíricas que dão grande margem à sua veracidade. Por mais que se tenha alguns buracos que ainda se tentam desvendar, é inegável o avanço de pensamento científico gerado pela ideia.

O estudo das estrelas, catalogando-as e analisando os elementos presentes nelas; comparando com os que encontramos até nos nossos corpos, leva à conclusão de que somos feitos dos mesmos materiais e que assim devemos ter vindo de um local comum. A observação do distanciamento de alguns astros leva a perceber que o universo está se expandindo, o que faz pensar que inicialmente toda a matéria estava unida. Essa expansão se observa através da análise dos espectros de cor das estrelas que caminham para o vermelho. É a hipótese de uma grande “explosão” inicial se mostra plausível pela detecção da radiação de fundo, que seria uma marca. Einstein ampliou a gravitação passada por Newton, aplicando o conceito de tecido espaço-tempo e que corpos de grandes massas poderiam distorcer esse tecido, fazendo corpos de massas menores girarem ao seu redor (Dupla 03).

A teoria do Big Bang tenta explicar a origem do universo. Por meio de fatos que foram observados que revelaram características e comportamentos que permitiu concluir que o universo teve uma origem, indo de encontro a paradigmas anteriores de compreensão do cosmos. Levando a uma realidade de um universo muito maior e complexo do que se imaginava (Dupla 04).

A teoria do Big Bang é uma fundamentação científica que busca explicar a origem do universo. Nela, certas observações como a constante expansão do universo (observada através do distanciamento das estrelas), a permanência da velocidade da luz contraposta com a variação do espaço-tempo, a forma em que a luz é deformada pela ação da gravidade, entre outras constatações são colocadas para provar que um dia o Universo era uma coisa pequena e maciça que continha toda a matéria e energia que hoje existe. E, através do acúmulo de radiação que havia nela, acarretou a grande explosão chamada: Big Bang.

Apesar dessa teoria ser a mais aceita no meio científico, ainda existem lacunas a respeito do nosso universo, como a existência e composição da matéria escura e da energia escura (Dupla 05).

Nesse sentido, a partir da análise dos textos, observa-se que houve mudanças significativas no entendimento da Teoria do *Big Bang*. Entretanto, alguns ainda reproduzem a ideia equivocada de grande explosão. Em todos os textos produzidos pelos alunos, há menção do Universo como uma evidência do *Big Bang*, mesmo que em nossas discussões tenha sido alertado que esse indício por si só não daria a TBB o *status* de mais aceita na comunidade científica. Em alguns escritos foram explicitadas outras traços que corroboram com a TBB. No geral, ainda observamos uma mistura entre conceitos; contudo, percebe-se uma visão mais crítica e argumentativa sobre o tema gerador da SD. Desse modo, concluímos que os alunos obtiveram uma boa compreensão sobre a ideia principal a respeito da TBB, assim como, dos objetos de aprendizagem de Física Moderna e Contemporânea (FMC) destacados em nossa SD, como a Teoria da Relatividade Restrita e Geral.

Após solicitação da construção do texto sobre o entendimento dos discentes da TBB, pedimos aos alunos que avaliassem a metodologia aplicada. Algumas avaliações⁵⁶ seguem abaixo:

A minha opinião sobre o método utilizado nas aulas foi ótimo por um todo. A utilização de vídeos e slides dinâmicos, que ajudou a compreender o assunto em sua real essência, outro fator que ajudou foi a despreocupação com a entrega de atividades permitiu, pelo menos para mim, uma concentração maior no que era realmente importante, a compreensão do assunto (R. A.).

O método de ensino abordado pelo professor Dilton Carapiá que ocorreu na IV unidade do 3º ano do ensino integrado do curso de mecânica do IFBA foi muito interessante e envolvente já que, para além das discussões teóricas abordadas em sala, houve a implementação de multimídia, que facilitava o entendimento dos conceitos por haver uma certa experimentação dos fatos, o que facilita a imaginação dos mesmos além de tornar mais proveitosas as próprias discussões abordadas em sala. Outro fato que pude observar nesse método de ensino é a liberdade e a confiança presentes nas participações dos alunos em sala. Com certeza esse método de ensino é bastante proveitoso, principalmente pelo fato de deixarmos de ser meros reprodutores de ideias (que inúmeras vezes não fazem sentido para nós mesmo) e construímos nossa própria ideia, isso é ciência! (D. F.)

A metodologia aplicada durante as aulas sobre o Big Bang – Filmes, e discussões e debates, apresentação histórica de fatos, tornaram as aulas

⁵⁶ Todas as transcrições foram fiéis à escrita dos alunos envolvidos. Não foram feitas correções ou adaptações a fim de atender a Norma Culta e/ou Norma Padrão.

interessantes e dinâmicas tornando o exercício do aprendizado uma tarefa mais simples.

A utilização desse método faz com que a disciplina (Física), se torne mais acessível e torna de maneira definitiva, as informações obtidas em conhecimento, assim, as aulas foram mais prazerosas e enriquecedoras (F.B.).

Eu achei a análise qualitativa extremamente interessante e eficaz. Foram poucos os assuntos das matérias de exatas que realmente, fizeram sentido pra mim. Eu apenas tentava gravar as fórmulas e as reproduzir nos exercícios e provas. Nessa unidade, por causa da forma que foi passada, realmente me intrigou e me instigou a saber mais acerca do assunto.

O uso de slides e vídeos para facilitar o entendimento da historicidade dos fatos foi também bastante eficaz por conta da forma que dinamizaram a aula.

Enfim, eu gostei bastante apesar de ter ficado um pouco cansativo em certos momentos por conta da carga teórica. Mas foi bom (M. C.).

Durante as aulas da IV unidade do ano letivo de 2015, foi discutido em sala de aula os fundamentos da teoria do big bang e sua relação com as teorias da relatividade restrita e geral. A metodologia durante as aulas promoveu debates em círculo sobre o assunto e, conseqüentemente, uma compartilhagem entre os conhecimentos e dúvidas dos alunos. A análise histórica com o auxílio de vídeos promove uma maior dinâmica, despertando a atenção do aluno para o assunto com mais avidez. Essas aulas promoveram uma maior absorção do assunto de forma descontraída, fazendo as aulas um entretenimento para aqueles cujo interesse foi despertado pelo assunto.

Muitos fatos foram levantados durante as aulas com os vídeos e debates que provavelmente não seriam discutidos em outro modelo de aula, tais como curiosidades sobre o processo histórico de formação de alguns conhecimentos científicos. Essas curiosidades e a análise histórica da física foram muito importantes para atrair o aluno para o contexto dos temas em questão. A IV unidade desse ano promoveu uma experiência única aos alunos da turma, havendo muita aceitação tal como o questionamento do porquê de não termos outras aulas como estas (H. C.).

Em relação a como o conteúdo sobre a teoria do Big Bang e a teoria da relatividade foi trabalhada em sala achei bastante interessante e dinâmica, pois fez com que saíssemos do método convencional e explorássemos outros meios de adquirir conhecimento. Sair do quadro e das fórmulas matemáticas para observar o cosmo foi algo bastante diferente e que despertou minha curiosidade sobre o assunto.

Enfim, a utilização de meios mais dinâmicos, como os vídeos e filmes, ajuda bastante na compreensão dos assuntos e estimula a pesquisa e discussão (M.O.).

Nessa perspectiva, concluímos que a análise crítica dos alunos sobre a metodologia proposta tem na História e Filosofia da Ciência seu principal expoente,

reforça nossa certeza de que é possível fazer com que as aulas de Física tornem-se mais interessantes. Não poderíamos deixar de destacar a importância do uso dos vídeos como instrumento mediador, tornando as aulas mais lúdicas e prazerosas. Fica nosso desejo de que os resultados aqui expostos possam incentivar a produção de mais trabalhos que tenham como base metodológica o uso da História e Filosofia da Ciência.

REFERÊNCIAS

- ÁGORA. Direção: Alejandro Amenábar. Espanha, Mod Producciones, 2009. (127 min).
- ALVARENGA, B., MÁXIMO, A. *Curso de física*. 4.ed., São Paulo: Scipione, 1997. 3v.
- AMALDI, U. *Imagem da física*. São Paulo: Scipione, 1995.
- BISCUOLA, Gaulter José; BÔAS, Newton Villas; DOCA, Ricardo Helou. *Tópicos de Física: eletricidade, física moderna e análise dimensional*. v.3. São Paulo: Saraiva, 2007.
- BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular*. Disponível em <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/#/site/inicio>> (Acesso em: 8 fev. 2016)
- CALÇADA, Caio Sérgio; SAMPAIO, José Luiz. *Física Clássica: eletricidade e física moderna*. v3. 1ª ed. São Paulo: Atual, 2012.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. SASSERON, Lúcia Helena. “Abordagens histórico-filosóficas em sala de aula: questões e propostas”. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de [et al.] *Ensino de Física: Coleção Ideias em Ação*. São Paulo: Editora Cengage, 2010. p. 107-139
- CARUSO, Francisco; FREITAS, Nilton. “Física moderna no ensino médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, n. 2, ago., p. 355-366, 2009.
- COSMOS: uma odisseia no espaço. Direção: Brannon Braga; Bill Pope; Ann Druyan Estados Unidos. Cosmos Studios Fuzzy Door Productions, 2014. (44min por episódio)
- DESCARTES, René. *Tratado da luz*. Charles Adam e Paul Tannery (Org.). São Paulo: Hedra, [1623], 2008.
- _____. *Princípios da Filosofia*. Trad. de Leonel Ribeiro dos Santos. Lisboa: Presença, 1995.
- DURANDEAU, J. P., BRAMAND, P., FAYE, P; MRTEGOUTES, R., SAHUN, R., THOMASSIER, G. *Physique*. Paris: Hachette Éducation, 1995.
- EINSTEIN, Albert. “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento”. In: LORENTZ, H. A.; EINSTEIN, A.; MINKOWSKI, H. *Princípio de relatividade*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1958 [1905]. p. 47-86.
- FEYNMAN, Richard P. *Lições de física de Feynman*. Trad. de Adriana Válio Roque da Silva [et. al.] Porto Alegre: Bookman, 2008.
- FREIRE JR., Olival. “Novo Tempo, Novo Espaço, Novo Espaço-Tempo: Breve história da relatividade”. In: ROCHA, José Fernando M. [et al.] *Origens e Evolução das Ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2002. p. 283-297.
- GALISON, P. *Os relógios de Einstein e os Mapas de Poincaré – impérios do tempo*. Lisboa: Gradiva, 2005.
- GASPAR, Alberto. *Compreendendo a Física: eletromagnetismo e Física Moderna*. v.3. São Paulo: Ática, 2013.
- GUERRA, Andreia; et. al. “Tempo, espaço e simultaneidade: uma questão para os cientistas, artistas, engenheiros e matemáticos no século XIX”. *Caderno Brasileiro de Ensino Física*, v. 27, n. 3, dez. p. 568-583, 2010.
- HEWILTT, Paul G. *Física Conceitual*. Trad. de Trieste Freire Ricci. 11. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

INTERESTELAR. Direção: Christopher Nolan. Paramount Pictures Warner Bros. Estados Unidos, 2014. (169 min).

LLEWELLYN, Ralph A.; TIPLER, Paul Allen. *Física Moderna*. Trad. de Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MARTINS, Roberto de Andrade. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Editora Moderna, 1994. Disponível em <<http://www.ghc.usp.br/Universo/index.html>> (Acesso em: 27 fev. 2016)

MOREIRA, Marco Antônio. *Teorias de Aprendizagem*. 2. ed. São Paulo: EPU, 2011.

MOYSÉS, Lucia. *Aplicações de Vigotsky à educação matemática*. Campinas: Papirus, 1997.

NEWTON, Isaac. *Princípios Matemáticos de la Filosofía Natural*. Trad. de Eloy Rada. Madrid: Alianza Editorial, [1687], 2004.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. *Curso de Física*. v. 4. São Paulo: Blucher, 1998.

OLIVEIRA FILHO, Kepler Souza. “O Universo”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Universidade de Santa Catarina, v. 27, n. Especial: p. 698-722, dez., 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27nespp698/17203>> (Acesso em: 18 fev. 2016)

OSBORN, Alex. *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Thinking*. New York: C. Scribner's sons, 3. ed [1953], 1979.

OSTERMANN, Fernanda. MOREIRA, Marcos Antônio. “Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa ‘Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio’”. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.5(1), pp. 23-48, 2000. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID57/v5_n1_a2000.pdf> (Acesso em: 20 dez. 2015)

PATY, Michel. *A Física do Século XX*. Trad. de Pablo Mariconda. São Paulo: Ideias e Letras, 2009.

PIETROCOLA, Maurício. POGIBIN, Alexander. ANDRADE, Renata de. ROMERO, Talita Raquel. *Física Conceitos e Contextos*. v. 1 e 3. São Paulo: FTD, 2013.

RAMALHO JR., Francisco. FERRERO, Nicolau Gilberto. SOARES, Paulo Antônio de Toledo. *Os Fundamentos da Física: eletricidade e introdução à física moderna*. v. 3. São Paulo, 2015

RODRIGUES, Letícia Luiz. “A prova cosmológica da existência de deus em René Descartes: o princípio de causalidade como elemento fundamental”. *Revista Filogênese*. Universidade Estadual de Paulista, Marília, v. 6, n. 2, p. 1-12, 2013. Disponível em <<https://www.marilia.unesp.br/Home/RevistasEletronicas/FILOGENESE/leticiaRodrigues.pdf>> (Acesso em: 27 fev. 2016)

ROSA, Cleci Teresinha Werner da; ROSA, Álvaro Becker da. “A Teoria historicocultural e o Ensino de Física”. *Revista Iberoamericana de Educación*. Disponível em <http://rieoei.org/did_mat22.htm> (Acesso em: 25 mar. 2016)

ROSA, Paulo Ricardo da Silva. “O uso dos recursos audiovisuais e o Ensino de Ciências”. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 17, n. 1, 2000. Disponível em <<file:///C:/Users/Elite%20Preparatorio/Downloads/Dialnet-UsoDosRecursosAudiovisuaisEOEnsinoDeCiencias-5165491.pdf>> (Acesso em: 20 dez. 2015)

ROSENFELD, Rogério. “A Cosmologia”. *Física na escola*, v. 6, n. 1, 2015. Disponível em <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/cosmologia.pdf>> (Acesso em: 4 mar. 2016)

SAGA DO PRÊMIO NOBEL, A. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=VHDaW2yvfIE>> (Acesso em: 7 mar. 2016)

SASSERON, Lúcia Helena. “Alfabetização científica e documentos oficiais brasileiros: um diálogo na estruturação do ensino de Física”. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de [et al.] *Ensino de Física: Coleção Ideias em Ação*. São Paulo: Editora Cengage, 2010. p. 1-28

SEIDENGART, Jean. “A evolução das ideias cosmológicas de Kant em seus últimos escritos”. *Revista Educação e Filosofia*. Uberlândia, v. 27, n. 1- esp, p. 167-189, 2013. Disponível em <<http://www.seer.ufu.br/index.php/EducacaoFilosofia/article/view/22765/12731>> (Acesso em: 27 fev. 2016)

SILVA, André Coelho da. ALMEIDA, Maria José Pereira Monteiro.” Física Quântica no Ensino Médio: o que dizem as pesquisas”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 3: p. 624-652, dez. 2011. Disponível em < [file:///C:/Users/Elite%20Preparatorio/Downloads/Dialnet-FisicaQuanticaNoEnsinoMedio-5165629%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Elite%20Preparatorio/Downloads/Dialnet-FisicaQuanticaNoEnsinoMedio-5165629%20(1).pdf)> (Acesso em: 30 nov. 2015)

SOARES, Domingos. “O universo estático de Einstein”. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 1, 1302, 2012. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n1/v34n1a02.pdf>> (Acesso em: 3 fev. 2016)

SODRÉ JR., Laerte. “O lado escuro do Universo”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 27, n. Especial: p. 743-769, nov. 2010.

SOUZA, Wflander Martins de. “A utilização de filmes como recurso didático no ensino de Física: uma intervenção pibidiana”. <<http://sinect.com.br/anais2014/anais2014/artigos/ensino-de-fisica/01410225783.pdf>> Acesso em 16 de jun de 2016. Trabalho apresentado no IV Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia.

TEIXEIRA, Elder Sales; GRECA, Ileana Maria; FREIRE JR., Olival. “Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física”. In: PEDUZZI, Luiz O. Q. [et al.] *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*. Natal: EDUFRN, 2012. p. 9- 40.

TREFIL, James. HAZEN, Robert M. *Física Viva: Uma introdução à Física Conceitual*. Trad. Ronaldo Sérgio de Biasi. v.3. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

UNIVERSO ELEGANTE: supercordas, dimensões ocultas, e a busca pela Teoria final, O. Disponível em < <https://www.youtube.com/watch?v=053Wje5f72I>> (Acesso em 5 mar. 2016)

VYGOTSKY, Lev Semenovich. *A formação social da mente*. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

VYGOTSKY, Lev Semenovich. *Pensamento e linguagem*. Trad. Jefferson Luiz Camargo; revisão técnica José Cipolla. - 4ª ed. – São Paulo: Martins Fontes, 2008.

WAGA, Ioav. “Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o Século XXI”. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 1, p. 157-173, 2005. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v27n1/a18v27n1.pdf>> (Acesso em: 14 fev. 2016)

GLOSSÁRIO

Este glossário visa facilitar o entendimento do conteúdo que será discutido em nossa sequência didática, pois alguns signos, e seus significados, não fazem parte do cotidiano dos alunos, mesmo que alguns termos são socialmente compartilhados através dos meios de comunicação, além de filmes, desenhos animados e documentários televisivos.

Dividimos este glossário em duas partes, na primeira trataremos das medidas de distância e massa que envolve os objetos cósmicos e, na sequência, falaremos sobre os grandes objetos do cosmos além da dinâmica das estrelas e das galáxias.

1.0 Grandezas e unidades astronômicas usuais

1.1 Unidade Astronômica (UA) → Unidade de distância utilizada para medir o raio das grandes órbitas. $1UA = 1,5 \times 10^8$ km que, é a distância média Terra-Sol.

1.2 Ano- luz → Unidade introduzida por William Hershel, corresponde à distância percorrida pela luz no vácuo durante um ano terrestre, com velocidade de 300.000 km/s, ou seja, cerca de 10 trilhões de quilômetros (10^{12} km).

1.3 Parsec (pc) → Unidade utilizada para medir distâncias estelares. 1pc equivale a 3,26 anos-luz. É muito comum se utilizar múltiplos do *parsec*, como kpc (10^3 pc) e o Mpc (10^6 pc). As distâncias das estrelas mais próximas são da ordem do *parsec*. O raio da galáxia Via Láctea é da ordem de 10^4 pc.

1.4 Massa do Sol → $1M_{sol} \approx 1,99 \times 10^{30}$ kg (cerca de 333.432 vezes a massa da Terra)

1.5 Massa da Terra → $1M_{Terra} = 5,908 \times 10^{24}$ kg

1.6 Massa de Júpiter → $1M_{jup.} = 1,90 \times 10^{27}$ kg

2.0 Grandes objetos do Universo

2.1 Cefeidas → Estrelas variáveis, periódicas, cujo período, compreendido entre um e cem dias, está relacionado com a luminosidade conforme uma lei regular, formulada, por H. S. Leavitt em 1912. A relação permite utilizá-las para determinar as distâncias das estrelas e das galáxias mais distantes

2.2 Anãs marrons → São estrelas relativamente massivas e densas, cuja massa fica em torno de 12 a 80 $M_{jup.}$. No interior dessas estrelas, as reações de combustão que começaram a produzir-se não puderam ser entretidas de maneira estável em razão de uma massa muito pequena.

2.3 Anãs brancas→ São estrelas pequenas, porém muito densas e de baixa luminosidade. Elas são resultado mais violento da extinção de uma estrela. Nos estágios finais da evolução estelar destes objetos ocorre um colapso do núcleo central e a expulsão súbita do material externo expõe um caroço identificado com os objetos centrais das nebulosas planetárias.

2.4 Estrelas de nêutrons→ Assim como as anãs brancas, as estrelas de nêutrons constituem o estado final de uma estrela em fim de existência após o esgotamento de suas possibilidades de **nucleossíntese**. São estrelas muito compactas e densas (10^{14} g/cm³, 100 milhões de vezes mais densa que as anãs brancas), com massa da ordem de uma a duas massas solares e volume esférico de cerca 10km de raio. Resultado do colapso de uma estrela mãe (supernova), seu diâmetro diminui consideravelmente, conservando seu momento angular, resultando num aumento da velocidade de rotação. Isso faz dela um farol giratório cósmico de periodicidade de algumas dezenas de milisegundos, que emite radiações de radiofrequências. A primeira detecção de um radiofarol astronômico, de pequena dimensão, de rotação rápida e emitindo ondas rádio-periódicas, ocorreu em 1967 e foi batizado de pulsar. Conhece-se hoje cerca de 400 pulsares somente para nossa galáxia. Um dos pulsares mais conhecidos é o da Nebulosa do Caranguejo, objeto remanescente da explosão de uma supernova, a 6000 anos-luz, observada em 1054 por astrônomos chineses.

2.5 Gigantes vermelhas→ Estrelas que possuem cor vermelha, intensa luminosidade e seu raio pode alcançar 1000 raios solares. As estrelas que chegam a esse estágio esgotaram seu combustível de hidrogênio e queimam o hélio, operando nucleossíntese superiores na tábua dos elementos. A energia liberada dilata o envelope da estrela, cuja superfície esfria, emitindo luz vermelha.

2.6 Supernovas→ São estrelas que apresentam brilhos de luminosidade que pode atingir a dez bilhões de vezes a luminosidade do Sol durante vários meses antes de extinguir-se. As causas estão associadas à interrupção das reações de nucleossíntese, com a produção de um coração de núcleos de ferro, e um **gás de elétrons degenerado**, cuja pressão quântica sustenta o coração de ferro da estrela. Porém a massa desse coração aumenta rapidamente devido às transmutações radioativas de outros núcleos que se transformam em ferro, produzindo o colapso do núcleo por contração gravitacional, liberando uma imensa quantidade de energia que é transmitida as regiões mais externas da estrela, provocando uma explosão com forte aumento da luminosidade, além de uma gigantesca onda de choque e emissão de partículas. A explosão deixa um núcleo remanescente, que pode dar uma estrela de nêutrons ou um buraco negro.

2.7 Nebulosas→ São nuvens de poeira, hidrogênio, plasma e outros gases ionizados. São verdadeiros berços estelares e de sistemas planetários, cuja causa está associada a processos de aglutinações de partes do material que constitui a nebulosa, deixando a atração gravitacional se encarregar da finalização da formação de novas estrelas.

2.8 Buracos Negros→ Objeto com força gravitacional tão grande que nada, nem mesmo a luz, consegue escapar da área delimitada por uma distância específica do seu centro, chamada de raio do buraco negro do objeto ou horizonte de eventos.

Galáxias→ Sistemas de estrelas isolados no espaço cósmico que, outrora, eram denominadas de nebulosas por Willian Herschel e Charles Messier. Em cada sistema, o número de estrelas vai de vários milhões até muitas centenas de bilhões, que se mantem unido pela atração gravitacional mútua das estrelas, e que também contém em geral quantidades expressivas de gás e poeira.

ANEXO A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a), como voluntário(a), a participar da pesquisa: UTILIZANDO RECURSOS AUDIOVISUAIS COMO MEDIADORES PARA ENSINAR A TEORIA DO *BIG BANG* À LUZ DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA

RESPONSÁVEIS: Mestrando DILTON LOPES CARAPIÁ; Professores Doutores RAINER KARL MADEJSKY e INDIANARA LIMA SILVA

INSTITUIÇÃO: Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS

JUSTIFICATIVA: O trabalho, aqui apresentado, busca atender à proposta do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), especificamente, na linha de pesquisa Física no Ensino Médio (Área de concentração: Física na Educação Básica). A pesquisa em Ensino de Física tem apontado diversas dificuldades e alternativas para a inserção de conceitos de Física na Educação Básica. Em nosso levantamento sobre os temas desse campo de pesquisa, constatamos, de forma quase consensual, que as dificuldades para o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) parecem ainda maiores. Há evidente carência de propostas de ensino para essa área da Física, ainda que os resultados tenham impacto direto em nossas vidas, especialmente relacionadas com o avanço tecnológico (*lasers*, diodos, tecnologias para celulares e computadores, ressonância magnética nuclear – alguns exemplos). Preocupados com esta temática e, envolvidos diretamente no debate sobre ensino de Física para alunos do Ensino Médio, propomos a elaboração de uma Sequência Didática (SD) com o objetivo de ensinar conceitos de FMC. A SD, a ser aplicada em sala de aula, faz parte de um conjunto de atividades que culminarão com a dissertação de mestrado a ser defendida junto ao MNPEF.

OBJETIVOS: esta pesquisa desdobra-se em dois objetivos, a saber: compreender quais as implicações da SD proposta para o ensino de FMC e apresentar metodologia e resultados obtidos para que outros professores possam utilizar, no contexto de outras instituições de ensino. De modo secundário, mas não sem importância, buscamos compreender como a perspectiva teórico-pedagógica de Lev Vygotsky pode auxiliar os professores no ensino de conceitos de Física. Ainda nesse viés, interessa-nos compreender como considerações sobre HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA (HFC) implicam na evolução conceitual dos estudantes nos espaços da sala de aula.

PROCEDIMENTOS: os procedimentos podem ser caracterizados em duas etapas:

- 1) Aplicação da SD, em parceria com os estudantes do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia (IFBA), campus Salvador. Esta etapa compreende a coleta

de dados da pesquisa. Entendemos por dados, para efeitos da pesquisa, falas, textos e ações dos estudantes em virtude da interação com a SD e com o professor.

- 2) Análise dos dados obtidos no processo de aplicação da SD e, posteriormente, publicação de resultados e conclusões.

Os dados serão coletados através de gravações de vídeo, áudio e textos (produzidos pelos estudantes), sob a responsabilidade do pesquisador. Os estudantes, para efeitos desse trabalho, são considerados sujeitos da pesquisa. A coleta de dados acontecerá em todos os encontros. Para evitar eventuais constrangimentos, em caso de uso explícito desses dados na conclusão da pesquisa, os nomes dos sujeitos da pesquisa serão preservados (em seus lugares, usaremos nomes fictícios). Cabe ressaltar que, em qualquer momento, os sujeitos da pesquisa podem solicitar esclarecimentos sobre o uso de dados, bem como se afastarem da pesquisa sem nenhum tipo de censura ou constrangimento.

DESCONFORTOS, RISCOS E BENEFÍCIOS: Não deverão ser subestimados eventuais riscos e desconfortos, em qualquer pesquisa que envolva seres humanos, ainda que sejam mínimos. Do ponto de vista dessa pesquisa, os desconfortos podem ter origem, especialmente, na interação entre professores e alunos, ou mesmo na publicação dos seus resultados. No entanto, dar-se-á ao sujeito da pesquisa, caso necessite, ampla assistência sob a responsabilidade das instituições de ensino envolvidas, bem como pelo MNPEF. No entanto, não encontramos na literatura casos de consequências graves em virtude de pesquisas dessa natureza. Além disso, estaremos à disposição, e dispostos ao diálogo, sempre que necessário.

GARANTIA DE ESCLARECIMENTO, LIBERDADE DE RECUSA E GARANTIA DE SIGILO: Você será esclarecido(a) sobre a pesquisa em qualquer aspecto que desejar. Você é livre para recusar-se a participar, retirar seu consentimento ou interromper a participação a qualquer momento. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não irá acarretar qualquer penalidade ou constrangimento.

O pesquisador irá tratar a sua identidade com padrões profissionais de sigilo. Os resultados serão enviados para você e permanecerão confidenciais. Seu nome ou material, que indique a sua participação, não será liberado sem a devida permissão. Você não será identificado(a) em nenhuma publicação que possa resultar deste estudo. Uma cópia deste consentimento informado será arquivada no Colegiado do MNPEF da Universidade Estadual de Feira de Santana.

É importante destacar, ainda, que a participação no estudo não acarretará custos para você e não será disponibilizada nenhuma compensação financeira adicional, em caso de haver gastos de tempo, transporte, creche, alimentação, etc.

DECLARAÇÃO SUJEITO DA PESQUISA OU DO SEU RESPONSÁVEL: Eu, _____ fui informada(o) dos objetivos da pesquisa acima, de maneira clara e detalhada, e esclareci minhas dúvidas. Sei que em qualquer momento poderei solicitar novas informações e motivar minha decisão se assim o desejar. O(a) professor(a) orientador(a), _____ e o professor(a) co-orientador(a), _____, certificaram-me de que todos os dados desta pesquisa serão confidenciais.

Em caso de dúvidas poderei chamar o mestrando, _____, o professor orientador ou o professor co-orientador no telefone (71) 992833562, ou o Colegiado do MNPEF, através do seguinte endereço: Avenida Transnordestina, S/N. Bairro, Novo Horizonte. CEP 44036900. Feira de Santana-Ba. Telefone: (75) 36218206.

Declaro que concordo em participar desse estudo. Recebi uma cópia deste termo de consentimento livre e esclarecido, foi-me dada oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Assinatura do sujeito da pesquisa ou do seu representante legal (para menores de 18 anos)

Assinatura do pesquisador

ANEXO B



DISCENTES: _____

DATA _____

DOCENTE: _____

DISCIPLINA: Física

SÉRIE: _____ **Turma:** _____

ROTEIRO ATIVIDADE PRÁTICA-FÍSICA MODERNA

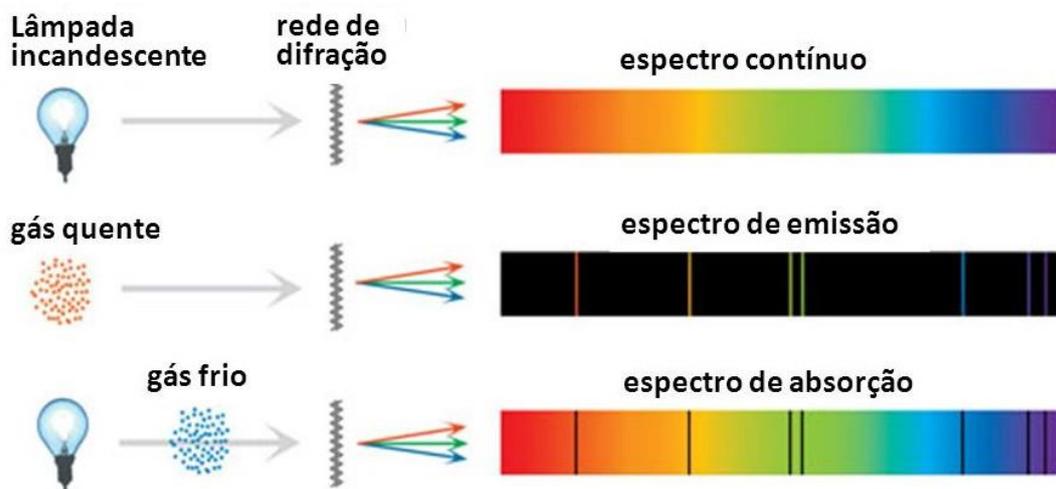
ESPECTRO DE LINHAS: ANÁLISE ESPECTRAL

Quando a fonte luminosa é um sólido com temperatura elevada (filamento de uma lâmpada incandescente), obtemos um espectro *contínuo*; todos os comprimentos de onda da luz visível estão presentes.

Quando a fonte é um gás, ou uma descarga elétrica, verificamos somente linhas paralelas e isoladas com determinados comprimentos de onda da luz visível.

Quando incidimos radiação de espectro contínuo sobre uma determinada substância observamos linhas escuras isoladas no espectro contínuo

A figura apresenta as três situações anteriores:



Espectro de Emissão e Absorção

Do ponto de vista quântico, a diferença entre o espectro de absorção e o de emissão.

No **espectro de absorção** o átomo recebe energia do feixe de luz incidente e passa do estado de energia mais baixo, ou estado fundamental, para um estado de energia mais alto, ou estado excitado, absorvendo a energia incidente.

O espectro de absorção consiste em um conjunto de comprimentos de ondas (ou de frequências) que são absorvidos pela substância quando incidimos uma radiação com espectro contínuo sobre ela.

No espectro de emissão, um átomo excitado pode passar de um nível de energia mais alto a qualquer nível de energia mais baixo, respeitando determinadas “regras de seleção” quânticas, emitindo energia na forma de luz. Nesses gases, os átomos estão praticamente isolados, a distância entre átomos é muito grande de modo que os níveis de energia são os níveis de átomos individuais, caracterizados por valores discretos e por uma separação relativamente grande entre os diversos níveis.

Material:

- Tabela com diversos espectros de emissão dos elementos
- Tabela com diversos espectros de absorção dos elementos
- Lâmpadas com gás
- Espectroscópio de “bolso”

Objetivo: Identificar a composição de cada elemento, a partir da visualização do espectro de emissão.

Procedimento: Utilizando o espectroscópio móvel, aponte-o para a lâmpada posicionada em cada uma das mesas.

Atividade: Utilize a tabela que contém os espectros de emissão para comparar com o espectro observado.

Considerando que a lâmpada é composta por um gás de um determinado elemento. Identifique os elementos de cada uma das mesas.

Identifique a cor predominante em cada tubo.

Questões

1-Além do espectro de emissão, a depender do experimento, e considerando o mesmo elemento, espectros de absorção podem também ser analisados. Conhecendo-se o espectro de emissão, identifique o espectro de absorção de cada um dos elementos.

2- Relacione a cor do tubo (visto a olho nu) com o espectro de **absorção** do elemento correspondente.

3-Considerando o modelo atômico de Borh, explique por que podemos considerar as linhas espectrais como uma identidade para os elementos.

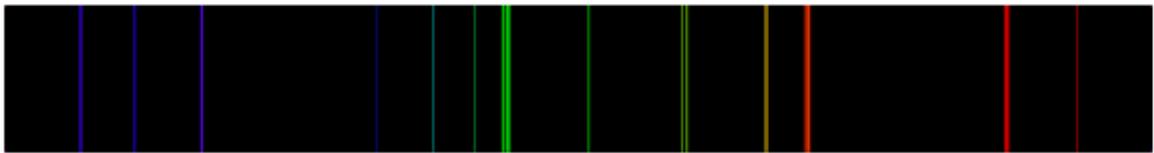
TABELA - ESPECTROS DE EMISSÃO



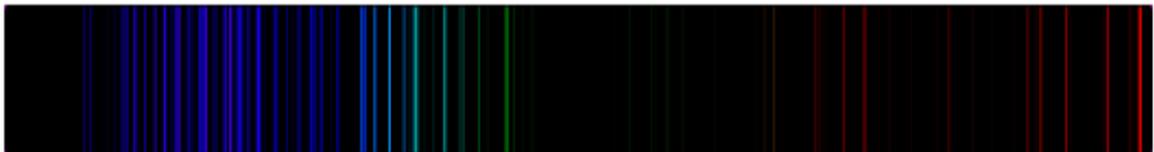
HIDROGENIO



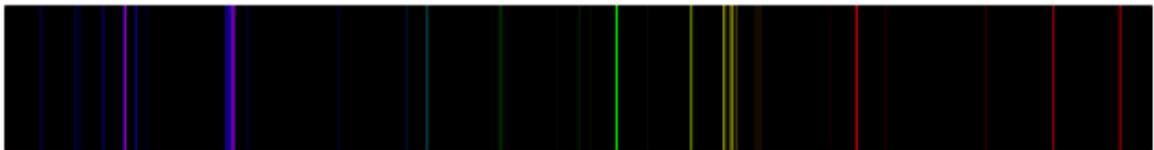
HELIO



CARBONO

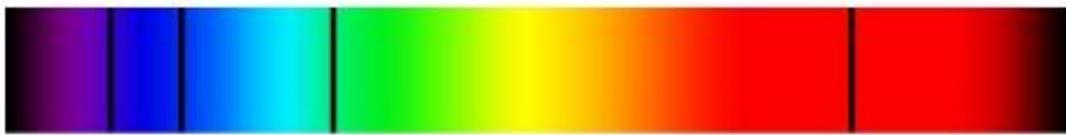


ARGONIO



MERCURIO

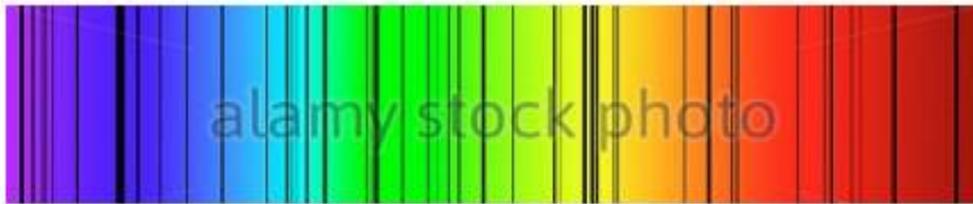
ESPECTROS DE ABSORÇÃO



()



()



()



()