



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DA EDUCAÇÃO BÁSICA**

ÁDILA MOTTA LEITE SEFERIN

**COSMOLOGIA E ATIVIDADES INVESTIGATIVAS NO ENSINO MÉDIO: UM
ESTUDO SOBRE OS EFEITOS DESSA ABORDAGEM SOBRE A
APRENDIZAGEM DOS ESTUDANTES**

**SÃO MATEUS
2016**

ÁDILA MOTTA LEITE SEFERIN

**COSMOLOGIA E ATIVIDADES INVESTIGATIVAS NO ENSINO MÉDIO: UM
ESTUDO SOBRE OS EFEITOS DESSA ABORDAGEM SOBRE A
APRENDIZAGEM DOS ESTUDANTES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ensino na Educação Básica (PPGEEB) do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), na linha de pesquisa “Ensino de Ciências Naturais e Matemática”, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino na Educação Básica.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga

Coorientador: Prof. Dr. Geide Rosa Coelho

SÃO MATEUS

2016

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
(Divisão de Biblioteca Setorial do CEUNES - BC, ES, Brasil)

S453c Seferin, Ádila Motta Leite, 1982 -
Cosmologia e atividades investigativas no ensino médio : um estudo sobre os efeitos dessa abordagem sobre a aprendizagem dos estudantes / Ádila Motta Leite Seferin. – 2016.
245 f. : il.

Orientador: Flávio Gimenes Alvarenga.

Coorientador: Geide Rosa Coelho.

Dissertação (Mestrado em Ensino na Educação Básica) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário
Norte do Espírito Santo.

1. Ensino e aprendizagem. 2. Ensino médio. 3. Educação. 4.
Cosmologia. I. Alvarenga, Flávio Gimenes. II. Coelho, Geide
Rosa. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro
Universitário Norte do Espírito Santo. IV. Título.

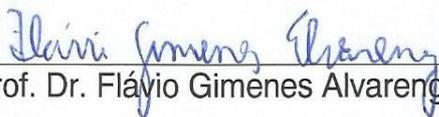
CDU: 37

"Cosmologia e atividades investigativas no Ensino Médio: um estudo sobre efeitos dessa abordagem sobre a aprendizagem dos estudantes"

Ádila Motta Leite Seferin

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino na Educação Básica, para obtenção do título de Mestre em Ensino na Educação Básica.

Aprovada em 17/03/2016.



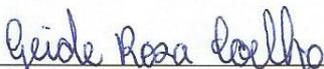
Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga

Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

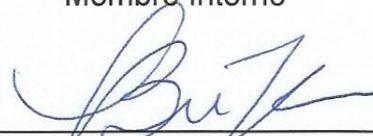


Prof^a. Dr^a. Marcia Regina Santana
Pereira

Universidade Federal do Espírito Santo
Membro Interno



Prof. Dr. Geide Rosa Coelho
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientador



Prof. Dr. Luiz Otávio Buffon
IFES – Campus Cariacica
Membro Externo

Ao meu marido Alexandre, meu porto seguro;
Aos meus pais Acácio e Angela, exemplo de conduta;
A Rosa, amiga-irmã;
Com amor, dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Flávio Gimenes Alvarenga, pela confiança depositada na seleção deste mestrado, pelo desafio proposto na temática dessa pesquisa e pelas contribuições na construção dessa dissertação;

Ao coorientador Geide Rosa Coelho, por aceitar convite de orientação e por ter me proporcionado momentos únicos de aprendizado no decorrer da pesquisa, além de conforto e estímulo com suas palavras de confiança, que me foram essenciais nesse processo de formação acadêmica e profissional;

Ao meu marido Alexandre, por ser a calma em meio à tormenta, pelo amor dedicado, incentivo, esforços e apoio incondicional para que eu superasse meus temores e aqui chegasse;

Aos meus pais Acácio e Angela, que sempre me deram liberdade em minhas escolhas, que não mediram esforços para me apoiar em minha trajetória acadêmica e profissional, sempre ao meu lado, dando suporte nos momentos mais difíceis;

À amiga-irmã Rosa, pela amizade, confiança, parceria, colaboração e palavras de incentivo que me fortaleceram do início ao fim dessa caminhada e processo de formação;

À amiga Camila, pelas conversas descontraídas e palavras de apoio em todos os momentos desde o início desse mestrado sem deixar de mencionar o auxílio nas correções linguísticas necessárias;

Aos meus irmãos Aline e Rogério, pelo incentivo, torcida e compreensão de minha ausência;

Aos alunos participantes da pesquisa pela confiança, acolhida e aprendizado proporcionado nos momentos de seu desenvolvimento em sala de aula;

Aos colegas da primeira turma do Mestrado Acadêmico em Ensino na Educação Básica do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES/UFES), por compartilharem as conquistas, angústias e dificuldades, em especial Leonice, Jonas e Geysa, aos quais agradeço pelo apoio, troca de experiências e pelas risadas;

Aos verdadeiros amigos, em especial a Clariana e Hedeone, pelos momentos de descontração em meio aos períodos mais turbulentos e pela compreensão de minha ausência nos períodos de maior imersão na escrita;

Ao Instituto Federal do Espírito Santo, *Campus* de Nova Venécia, por ter possibilitado tempo para desenvolvimento desse mestrado.

Sinceramente, meu muito obrigada.

“Tudo aquilo que o homem ignora, não existe para ele. Por isso o universo de cada um, se resume no tamanho de seu saber.”

Albert Einstein

RESUMO

Nessa dissertação adota-se a perspectiva do ensino por investigação como base para estruturação de uma Sequência Didática sobre Cosmologia e Física Moderna e Contemporânea para o ensino médio. Objetiva-se a compreensão de como a utilização desta abordagem contribui para o aprendizado das distintas tipologias de conteúdos – conceituais, procedimentais e atitudinais – dos estudantes por meio do compartilhamento de conhecimento em sala de aula. A pesquisa que tem caráter qualitativo, orientada pela perspectiva da pesquisa-ação crítico-colaborativa, foi desenvolvida a partir de uma intervenção educacional realizada na Escola Estadual de Ensino Médio do município de Vitória-ES no ano de 2014 e envolveu os 134 alunos da segunda série matriculados no turno vespertino. Dentro da proposta de Sequência Didática foi desenvolvido um texto sobre Cosmologia para suporte conceitual, material de mídia para uso nas aulas expositivo-dialogadas e três propostas de atividades investigativas. Os dados que subsidiaram as análises foram produzidos por meio de atividades investigativas e de representação do Universo, um diário de campo e um questionário de opinião respondido pelos alunos. Os resultados apontam para uma evolução no nível de generalização dos estudantes na formação dos conceitos científicos associados à Cosmologia, além de apresentarem indícios de que os estudantes adquiriram procedimentos relacionados à organização, estratégias, inferências e sistematização, ao elaborarem o plano de investigação na tentativa de solução para o problema proposto. Com relação à aprendizagem de atitudes dos alunos mudanças como, o respeito ao colega e o trabalho em equipe, a autonomia e criticidade na busca pela solução das atividades apresentadas, foram evidenciadas. Dessa forma, é possível vislumbrar potencialidades na adoção da perspectiva do Ensino por Investigação para abordagem dos tópicos de Cosmologia para inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio de maneira dinâmica e contextualizada, possibilitando aos estudantes momentos de maior discussão, aprendizado e engajamento no processo de ensino e aprendizagem.

Palavras-chaves: Ensino por Investigação. Cosmologia. Física Moderna e Contemporânea. Aprendizagem Conceitual, Atitudinal e Procedimental.

ABSTRACT

This dissertation adopts the idea of teaching and learning by conducting investigations as a basis for the structuring a Teaching Sequence on Cosmology and Modern and Contemporary Physics for high school, focusing on three investigative activities. The goal is to understand how to use this approach contributes to the learning of different content types - conceptual, procedural and attitudinal - students through knowledge sharing in the classroom. The research is qualitative, guided by the perspective of critical-collaborative action. It was developed by an educational intervention carried out in Public High School, located in Vitória-ES in 2014. The research involved 134 students of the second year enrolled in the afternoon shift and the Physics teacher responsible for the class. In addition to the proposal for Teaching Sequence we has developed a text on cosmology for conceptual support, media material for use in the exhibition-dialogued classes and three proposals for investigative activities. The data that subsidize analyzes were produced by means of investigative activities and representation of the Universe, a researcher's field diary and opinion questionnaire answered by the students. The results point to an evolution in the level of generalization of the students in the formation of scientific concepts related to Cosmology. In addition to having a satisfactory procedures development index related to the organization, strategies, inferences and systematization, in preparing the research plan in an attempt to solution to the proposed problem. Changes were observed with regard to learning of attitudes of the students such as respect with colleagues and improved teamwork, autonomy and critical in the search for solutions of the presented activities. Thus, it is possible to discern potential in adopting the perspective of Inquiry-Based Teaching and its potentialities for addressing Cosmology topics for insertion of Modern and Contemporary Physics in High School dynamic and contextualized way, allowing time students further discussion, learning and engagement in the learning process.

Key-words: Investigative Activities in Teaching. Cosmology. Modern and Contemporary Physics. Conceptual, Procedural and Attitudinal Learning.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Níveis de investigação no laboratório de ciências	72
FIGURA 02 - Graus de liberdade do professor/aluno em aulas de laboratório	73
FIGURA 03 - Atividades investigativas estruturadas segundo as porposições de Azevedo (2004) e Carvalho (2004)	74
FIGURA 04 - Representação esquemática da estrutura sistemática da organização de conceitos co-subordinados na constituição do conceito Universo, dito superior	82
FIGURA 05 - Representação da concepção de Universo de quatro alunos feita antes da intervenção, classificadas na categoria Desenho Elaborado	92
FIGURA 06 - Concepção inicial sobre o Universo dos alunos 106 e 115, respectivamente.....	94
FIGURA 07 - Concepção inicial sobre o Universo do Aluno 110.....	95
FIGURA 08 - Concepções do Universo apresentadas inicialmente pelos Alunos 318 e 219, respectivamente.....	97
FIGURA 09 - Concepções do Universo apresentadas inicialmente pelos Alunos 510 e 406, respectivamente.....	97
FIGURA 10 - Gráfico comparativo da categorização dos desenhos realizada antes e após a intervenção.....	99
FIGURA 11 - Concepção do Universo apresentada pelo Aluno 406, antes e após a intervenção, respectivamente.	100
FIGURA 12 - Concepção do Universo apresentada pelo Aluno 210, antes e após a intervenção, respectivamente.	100
FIGURA 13 - Concepção do Universo apresentada pelo Aluno 414, antes e após a intervenção, respectivamente.	101
FIGURA 14 - Concepção do Universo apresentada pelo Aluno 215, antes e após a intervenção, respectivamente.	102
FIGURA 15 - Concepção do Universo apresentada pelo Aluno 216, antes e após a intervenção, respectivamente.	103
FIGURA 16 - Apresentação do problema da Atividade Investigativa Universo Balão	105

FIGURA 17 - Apresentação do problema da para questão 01 da Atividade Investigativa <i>Redshift</i>	111
FIGURA 18 - Apresentação do problema da para questão 02 da Atividade Investigativa <i>Redshift</i>	114
FIGURA 19 - Apresentação da Atividade Investigativa de Questão Aberta <i>Big Bang</i>	117
FIGURA 20 - Gráfico com visão geral das atividades investigativas segundo análises relacionadas à dimensão conceitual de aprendizagem.....	121
FIGURA 21 - Gráfico do resultado da análise procedimental via qualidade dos planos de investigação produzidos na a atividade de Laboratório Aberto – Universo Balão.....	123
FIGURA 22 - Gráfico relativo à ocorrência de respostas na questão 11 do questionário de opinião	137
FIGURA 23 - Gráfico relativo às respostas apresentadas na questão 05 para a pergunta: Você acha que a forma de apresentação dos conteúdos foi:	140

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 - Síntese da estrutura da sequência didática “Evolução do Universo” desenvolvida durante a pesquisa.....	65
QUADRO 02 - Categorias de classificação dos desenhos das atividades de Concepções do Universo	83
QUADRO 03 - Categorização via qualidade dos planos apresentados pelos estudantes	84
QUADRO 04 - Categorias para classificação das respostas segundo o domínio conceitual.....	86
QUADRO 05 - Classificação dos conteúdos procedimentais segundo Pozo e Postigo	87
QUADRO 06 - Relação entre os indícios de aprendizagem procedimentais observados e as categorias de aprendizagem de procedimentos sugeridos por Pozo e Gómez Crespo (2009).....	124
QUADRO 07 - Relação entre possíveis indícios de aprendizagens atitudinais observados e alguns tipos de atitudes a serem promovidas com o ensino da ciência sugeridas por Pozo e Gómez Crespo (2009)	131
QUADRO 08 - Resultados das Questões 01 e 10 do questionário de opinião.....	134
QUADRO 09 - Resultados das Questões 04 e 07 do questionário de opinião.....	135
QUADRO 10 - Resultado da Questão 09 do questionário de opinião.....	137
QUADRO 11 - Resultados das Questões 02 e 03 do questionário de opinião.....	138
QUADRO 12 - Resultado da Questão 06 do questionário de opinião.....	139
QUADRO 13 - Resultado da Questão 08 do questionário de opinião.....	141

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Número de desenhos classificados inicialmente de acordo com categorização estabelecida a partir articulação de conceitos subordinados e de níveis de generalização apresentados	91
TABELA 02 - Ocorrência de representações conceituais errôneas dentro da categoria de Desenhos Intermediários	93
TABELA 03 - Ocorrência de representações conceituais errôneas dentro da categoria de Desenhos Primários	96
TABELA 04 - Classificação para as soluções apresentadas na Atividade Investigativa de Laboratório Aberto Universo Balão	106
TABELA 05 - Classificação para a solução apresentada na questão 1 da atividade de Problema Aberto <i>Redshift</i>	112
TABELA 06 - Classificação para a conclusão apresentada para o item c. na questão 2 da atividade de Problema Aberto <i>Redshift</i>	115
TABELA 07 - Classificação para as soluções apresentadas na atividade de Questão Aberta <i>Big Bang</i>	118
TABELA 08 - Qualidade dos planos de investigação de Atividade de Laboratório Aberto Universo Balão	123

LISTA SE SIGLAS

FMC	Física Moderna e Contemporânea
GLD	Guia do Livro Didático
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PCN+	Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais
PNLEM	Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio
PNLD	Plano Nacional do Livro Didático
PROEMI	Programa Ensino Médio Inovador
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – A PESQUISA	15
1.1 INTRODUÇÃO	16
1.1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA COSMOLOGIA PARA A PESQUISA E O ENSINO DE FÍSICA ..	18
1.1.2 O PROBLEMA DE ESTUDO E OBJETIVOS DA PESQUISA	20
1.2 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA.....	21
CAPÍTULO 2 – O REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1 O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO	26
2.1.1 DOCUMENTOS OFICIAIS BRASILEIROS E O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA EDUCAÇÃO BÁSICA	30
2.2 A COSMOLOGIA.....	35
2.2.1 A COSMOLOGIA NO ENSINO MÉDIO.....	36
2.3 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO E A APRENDIZAGEM EM CIÊNCIAS	40
2.3.1 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO	40
2.3.2 APRENDIZAGEM DE CONTEÚDOS: CONCEITUAL, ATITUDINAL E PROCEDIMENTAL	46
2.3.3 APRENDIZAGEM EM CIÊNCIAS EM UMA PERSPECTIVA SOCIOCULTURAL	49
CAPÍTULO 3 – O DELINEAMENTO METODOLÓGICO	55
3.1 O DELINEAMENTO DA PESQUISA	56
3.1.1 A PESQUISA-AÇÃO CRÍTICO-COLABORATIVA	57
3.1.2 APRESENTAÇÃO DA INSTITUIÇÃO DE ENSINO E CONTEXTO DA PESQUISA	60
3.1.3 CARACTERIZAÇÃO DOS SUJEITOS DA PESQUISA.....	61
3.2 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	62
3.3 A PRODUÇÃO DE DADOS	66
3.3.1 A ATIVIDADE DE CONCEPÇÕES SOBRE O UNIVERSO.....	67
3.3.2 AS ATIVIDADES INVESTIGATIVAS	69
3.3.3 O QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO	76

3.3.4	DÁRIO DE CAMPO.....	77
3.4	A ANÁLISE DOS DADOS	78
3.4.1	A ANÁLISE DA ATIVIDADE DE CONCEPÇÕES SOBRE O UNIVERSO	80
3.4.2	A ANÁLISE DAS ATIVIDADES INVESTIGATIVAS	84
	CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	89
4.1	A APRENDIZAGEM SEGUNDO A DIMENSÃO CONCEITUAL	90
4.1.1	A ATIVIDADE DE CONCEPÇÃO DO UNIVERSO	91
4.1.2	As ATIVIDADES INVESTIGATIVAS	104
4.1.2.1	<i>A Atividade Investigativa Universo Balão.....</i>	<i>105</i>
4.1.2.2	<i>A Atividade Investigativa Redshift.....</i>	<i>110</i>
4.1.2.3	<i>A Atividade Investigativa Big Bang.....</i>	<i>116</i>
4.2	A APRENDIZAGEM SEGUNDO AS DIMENSÕES PROCEDIMENTAL E ATITUDINAL.....	121
4.2.1	A APRENDIZAGEM DE PROCEDIMENTOS	122
4.2.2	A APRENDIZAGEM DE ATITUDES.....	129
4.3	A OPINIÃO DOS ESTUDANTES.....	133
	CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
	REFERÊNCIAS	150
	APÊNDICES.....	156
A	A SEQUÊNCIA DIDÁTICA - MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR.....	157
B	SLIDES DAS AULAS EXPOSITIVO-DIALOGADAS.....	219
C	AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	233
C.a	Atividade de Concepções Iniciais sobre o Universo.....	234
C.b	Atividade Investigativa Universo Balão	236
C.c	Atividade Investigativa Redshift	237
C.d	Atividade Investigativa Big Bang.....	239
D	QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO	240
E	CD COM MENU INTERATIVO COMPOSTO POR TODO MATERIAL DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	243

CAPÍTULO 1 – A PESQUISA

1.1 INTRODUÇÃO

Muito se discute atualmente sobre o processo de ensino-aprendizagem em Física, e diversas pesquisas têm sido desenvolvidas ao longo das últimas décadas em torno do assunto (REZENDE; OSTERMANN; FERRAZ, 2009). Entre as discussões que objetivaram descobrir a melhor maneira de se ensinar essa ciência a fim de que o educando atinja significativamente uma aprendizagem acerca dos fenômenos e conceitos relacionados, salta nos discursos a necessidade do desenvolvimento de novas estratégias e metodologias para o desenvolvimento de uma prática docente mais eficiente.

Considerando a concepção da escola como local de se ensinar e aprender conhecimentos científicos escolares, é digno de destaque o papel atribuído ao professor no processo de ensino-aprendizagem ao se discutir as possibilidades de melhoria na qualidade do ensino de Ciências praticado nessas instituições sociais, uma vez que este profissional é tomado como ponto estruturante para construção do conhecimento científico dos estudantes (DRIVER et al, 1999). No entanto, como professores que somos, muitas vezes nos julgamos preparados para ensinar aos alunos conceitos, leis e manipulação de equações, contudo raramente nos voltamos para as demais tipologias de conteúdos relacionados ao currículo da educação científica: os procedimentais, relacionados às técnicas e métodos, e os atitudinais, associados a valores e normas (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009).

A reflexão acerca do papel do professor e da necessidade de aperfeiçoamento de suas metodologias e práticas na busca da promoção da ensejada aprendizagem dos estudantes é evidenciada por diversos autores, ao apresentarem críticas à presença constante das abordagens moldadas no ensino tradicionalista, que tem o professor com a posição de expositor de conceitos na ação educativa e coloca o aluno como mero receptor e repetidor de informações (AZEVEDO, 2004; CAPECCHI, 2013; CARVALHO; 2004; CARVALHO; 2013).

Através de tais críticas, os autores AZEVEDO (2004); CAPECCHI (2013); CARVALHO (2004) e CARVALHO (2013) apontam como alternativa o uso da

perspectiva do ensino por investigação em sala de aula, propondo o estabelecimento de uma mediação de qualidade no processo aprendizagem, que tira o aluno da posição passiva das aulas exclusivamente centradas no professor e torna-o participativo no processo de aprendizagem, no qual ele terá que pensar, discutir, explicar fatos sobre as hipóteses envolvidas na solução de um problema, que pode ou não estar associado a um experimento, ser fundamentado em uma simulação computacional ou uma simples questão de lápis e papel.

Com tal abordagem, têm-se tentado aproximar o educando da cultura científica de maneira crítica, não somente se baseando na mera transmissão de conceitos e modelos, mas também promovendo uma mudança em sua atitude e na sua visão da Ciência como um todo (AMBRÓZIO, 2014). Nessa perspectiva de ensino, o professor assume o papel de um mediador entre os conhecimentos dos estudantes e o científico escolar, um negociador que colabora com os debates e faz as intervenções necessárias para manter a coerência das ideias dos seus alunos, objetivando uma negociação para uma ressignificação desses conhecimentos no processo de aprendizagem (AZEVEDO, 2004; CARVALHO; 2013; MORTIMER; SCOTT, 2002).

Nesse sentido, aponta-se para a necessidade da constituição de um educador crítico e reflexivo, criativo e inovador, pesquisador de suas práticas, reestruturador das ações que afetam direta e indiretamente o processo de ensino e aprendizagem, capaz de estabelecer processos mediacionais verdadeiramente significantes para a construção do conhecimento de seus alunos.

Em concordância com tais colocações, tomamos a perspectiva do ensino por investigação como base para estruturação dos momentos e das atividades investigativas que constituíram uma sequência didática sobre a Cosmologia, para a discussão de tópicos da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no contexto da Evolução do Universo, que sustentou a intervenção educacional na qual se apoiarão as investigações desta pesquisa. A abordagem a partir dessa perspectiva de ensino se deu no intuito de proporcionar aos estudantes momentos de discussões, questionamentos, pesquisa e aprendizado na busca pela solução dos problemas propostos.

A sequência didática, proposta para a intervenção educacional, foi desenvolvida inicialmente por mim, porém sua efetiva estruturação e seu desenvolvimento se deram de forma colaborativa com a professora de Física das turmas pesquisadas, proporcionando momentos de (trans)formação¹ e aprendizado ao longo do processo.

1.1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA COSMOLOGIA PARA A PESQUISA E O ENSINO DE FÍSICA

Nos últimos anos, muitos educadores² envolvidos e dedicados ao Ensino de Física têm se desdobrado na busca por alternativas para resolver o problema da falta de interesse e as conseqüentes dificuldades encontradas pelos estudantes em aprender os conteúdos associados a esta ciência. De fato, assim como o das demais disciplinas do currículo da educação básica, o Ensino de Física deve ser conduzido de modo a produzir significados e se tornar parte da vida do estudante, englobando sua forma de pensar e agir diante das situações cotidianas.

Com os avanços científicos e tecnológicos desencadeados até os dias atuais, a FMC passou a fazer parte da sociedade contemporânea e tem despertado cada vez mais a curiosidade dos jovens. De acordo com Kantor *et al* (2010), para os jovens do mundo contemporâneo, os conhecimentos de Física Moderna são fundamentais para a compreensão e o desenvolvimento da sociedade em que vivem. Ao conhecer os conteúdos da FMC, o aluno terá possibilidade de correlacioná-los ao universo que o cerca, possibilitando assim o estabelecimento de maior sentido à Física estudada na escola.

Os documentos oficiais que estabelecem orientações para a educação no Brasil, tais como a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB (BRASIL, 1996), os

¹ A utilização da expressão se dá simplesmente pelo fato que mais que momentos de formação e aprendizado, a experiência proporcionou para mim a possibilidade de mudança, uma verdadeira transformação.

²Tal afirmação se baseia em minha experiência profissional, no diálogo e convívio com diversos professores da área.

Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – PCNEM (BRASIL, 1998)³ e as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN+ (BRASIL, 2002), apresentam em sua redação elementos que corroboram com o discurso da necessidade da implementação de novas perspectivas para o Ensino de Física na educação básica e sua prática em sala de aula. Considerando tais orientações e o fato da FMC ser constituída de instrumentos e conteúdos que possibilitam a compreensão dos conceitos que sustentam a tecnologia predominante no mundo em que vivemos, reiteramos a necessidade da inserção de seus conteúdos no currículo do ensino médio de forma real e efetiva.

A Resolução nº 2, de 30 de janeiro de 2012, que estabelece as novas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio orienta em diversos pontos a abordagem de uma educação científica para a atualidade. Em seu artigo 4º, onde apresenta orientações para estruturação dos projetos político-pedagógicos para as unidades escolares que oferecem o ensino médio reforçando algumas disposições da LDB, em seu inciso IV prevê “a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática.” Ainda nessa resolução, em seu Art. 12, estabelece-se que o currículo do Ensino Médio deve:

[...] III - organizar os conteúdos, as metodologias e as formas de avaliação de tal forma que ao final do Ensino Médio o estudante demonstre:

a) domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna;

b) conhecimento das formas contemporâneas de linguagem

(BRASIL, 2012, grifo nosso).

Os PCNEM, ao abordar o currículo de Física, afirmam ser indispensável uma compreensão de natureza cosmológica, que permita ao jovem refletir sobre sua presença e seu “lugar” na história do Universo, tanto no tempo como no espaço, do ponto de vista da ciência. Prevê ainda a necessidade de se conhecerem as teorias e

³ Dadas as divergências nas datas de publicação encontradas em diversas publicações para este documento oficial, tomamos como referência o ano 1998 considerando a publicação da Resolução CEB nº 3, de 26 de junho de 1998 que institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.

os modelos propostos para a origem, evolução e constituição do Universo, além das formas atuais para sua investigação e os limites de seus resultados, no sentido de ampliar sua visão de mundo (BRASIL, 1998).

Compartilhando desses aspectos apontados pelos documentos oficiais brasileiros, a Cosmologia, por discutir a estrutura, a evolução e a composição do Universo e enfatizar em seus estudos as teorias da FMC, traz de forma unificadora um cenário ideal para a discussão do micro ao macro *cosmos*, do início (se houver um) ao fim de todo o mundo físico, envolvendo conceitos associados a radiação, física de partículas, espectroscopia e relatividade.

Entretanto, mesmo sendo previsto nos documentos oficiais e contextualizado com a perspectiva de mundo moderno, o ensino desses conteúdos no ensino médio não tem acompanhado esse desenvolvimento de forma satisfatória, sendo muitas vezes ignorado no discurso do professor em sala de aula, possivelmente por falta de formação – sabendo que sua abordagem nos cursos de Licenciatura em Física é feita apenas em disciplinas optativas – ou mesmo por falta de material existente, uma vez que tais tópicos são raramente apresentados nos livros destinados ao ensino médio.

Tendo em vista tais problemas, buscamos na presente pesquisa o estabelecimento de uma estrutura organizacional e a produção de um material que pudesse colaborar com o professor para efetiva inserção e discussão de tópicos da Cosmologia em sala de aula do ensino médio, com a proposição da sequência didática, material de mídia para as aulas e de um material com textos sobre o tema para subsidiar seu estudo.

1.1.2 O PROBLEMA DE ESTUDO E OBJETIVOS DA PESQUISA

Considerando a necessidade da efetiva inserção da discussão de tópicos da FMC no ensino médio, bem como a busca por novas perspectivas de uma prática docente que conduza os estudantes a uma aprendizagem em Física, a presente pesquisa se objetiva, de forma geral, a compreender como uma sequência didática com enfoque

no ensino por investigação contribui para a aprendizagem de estudantes do ensino médio de conteúdos de FMC e de tópicos de Cosmologia, no contexto da história da Evolução do Universo.

Por compreender que, em uma intervenção educacional, todo processo é tão significativo quanto o resultado esperado, para alcançar a compreensão em torno dessa questão principal de pesquisa, especificamente pretendemos:

- ✓ Desenvolver uma sequência de ensino investigativa para abordagem do tema Cosmologia e Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio;
- ✓ Investigar a aprendizagem conceitual dos estudantes ao longo da intervenção educacional;
- ✓ Analisar os procedimentos adquiridos pelos estudantes e suas atitudes no decurso da intervenção com enfoque no ensino por investigação;
- ✓ Avaliar o desenvolvimento da proposta de sequência didática por meio da opinião dos estudantes

1.2 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Moreira (2013), o Ensino da Física na educação contemporânea incrivelmente mantém a estrutura estabelecida no século passado, limitando-se muitas vezes ao estudo da Física Clássica, deixando de lado avanços tecnológicos e descobertas científicas mais atuais na maioria das vezes.

Além da falta e/ou despreparo dos professores, de suas más condições de trabalho, do reduzido número de aulas no Ensino Médio e da progressiva perda de identidade da Física no currículo nesse nível, o ensino da Física estimula a aprendizagem mecânica de conteúdos desatualizados. Estamos no século XXI, mas a Física ensinada não passa do século XIX (MOREIRA, 2013, p.2).

As justificativas para a pouca – ou mesmo a falta de – discussão dos temas contemporâneos, conceituados pela FMC, são muitas vezes fundamentadas na falta de tempo para cumprir os conteúdos programáticos estabelecidos pelas instituições de ensino, na complexidade do tema frente à deficiência de conhecimentos básicos

correlacionados à Física Clássica por parte dos estudantes e até mesmo na falta de material sobre os tópicos da FMC adequado a esse nível de ensino.

Na busca de alternativas didáticas e metodológicas para uma melhor abordagem dessa ciência no ensino médio, bem como a compreensão dos processos de ensino e aprendizagem por meio de metodologias diferenciadas, este trabalho propôs o desenvolvimento de uma sequência didática sobre a “Evolução do Universo”, apoiada em três atividades de cunho investigativo sustentadas pela perspectiva do ensino por investigação.

A partir do tema estruturador “Universo, Terra e Vida” sugerido nos PCN+ (BRASIL, 2002), a sequência pretendeu introduzir a discussão dos tópicos da FMC para o entendimento dos estudantes acerca de espectroscopia, radiação e partículas elementares ao abordá-los no contexto da Cosmologia. No contexto da proposta de sequência didática para organização da abordagem do tema, foram desenvolvidos: um texto sobre Cosmologia (Apêndice A – também CD anexo ao Apêndice E) para subsidiar teoricamente o professor, um material de áudio visual sob a forma de *slides* (Apêndice B – também CD anexo ao Apêndice E) para aporte às aulas expositivo-dialogadas, uma atividade de avaliação das concepções prévias dos estudantes sobre o Universo (Apêndices C.a) e também propostas de atividades investigativas (Apêndices C.b, C.c e C.d) a serem desenvolvidas na sala de aula, no decurso do desenvolvimento da sequência proposta.

Dessa forma, o relato desta pesquisa será organizado em uma dissertação e estruturado em cinco capítulos, que se constituirão pela estrutura apresentada na descrição a seguir.

Nesse primeiro capítulo, ressaltamos as questões que motivaram a realização dessa investigação, bem como a relevância do tema Cosmologia para essa pesquisa e para o Ensino de Física na educação básica. Nele também apresentamos o problema de estudo em questão e os objetivos, geral e específicos, almejados nesse estudo.

No segundo capítulo apresentamos as discussões teóricas que fundamentam esse estudo. Inicialmente apresentamos o cenário do ensino da FMC no ensino médio e a sua importância, bem como o ensino da Cosmologia nessa etapa de ensino e a sua

não abordagem nos livros didáticos e em sala de aula. Para isso, dialogando com autores como Terrazzan (1992), Ostermann e Moreira (2000), Pereira e Ostermann (2009), Dominghini (2012) e Silva, Arengui e Lino (2013) e também com os documentos oficiais da educação brasileira (LDB (BRASIL, 1996); PCNEM (BRASIL, 1999); PCN+ (BRASIL, 2002)).

Ainda no capítulo dois procedemos a um apanhado histórico acerca da perspectiva do Ensino por Investigação e sua abordagem no ensino de ciências, sob o olhar de autores como Azevedo (2004), Munford e Lima (2007), Rodrigues e Borges (2008), Zômpero e Laburú (2011) e Carvalho (2013). Além disso, caracterizamos as tipologias de conteúdos de aprendizagem – conceitual, procedimental e atitudinal – e sua importância no ensino de Ciências, tendo por base visão de Zabala (1998) e Pozo e Gómez Crespo (2009). Por fim, apresentamos alguns aspectos da teoria sociocultural de Vygotsky que nortearam as discussões acerca da aprendizagem dentro dessa perspectiva evidenciadas nesse trabalho.

O terceiro capítulo é destinado à apresentação do delineamento metodológico dessa pesquisa de mestrado. Iniciamos com a exposição dos pressupostos teórico-metodológicos nos quais nos apoiamos para caracterizar o tipo de pesquisa desenvolvida, além de relatar as características da instituição de ensino na qual o estudo foi desenvolvido, o contexto em que ele se desencadeou, bem como a descrição dos sujeitos envolvidos. Em seguida apresentamos a estrutura da sequência didática elaborada – e desenvolvida – e descrevemos os momentos pensados para o processo de ensino. Na sequência, evidenciamos os instrumentos – questionários e diário de campo – e atividades investigativas utilizadas durante a intervenção que viabilizaram a produção dos dados que subsidiaram as análises dessa pesquisa. A última seção desse capítulo foi destinada à apresentação e discussão dos critérios de análise utilizados para os dados produzidos.

No quarto capítulo apresentamos a análise e discussão dos dados produzidos na intervenção. Evidenciamos as análises referentes à investigação para compreensão das possíveis aprendizagens – conceitual, procedimental e atitudinal – possibilitadas pela adoção da sequência didática dentro da perspectiva do ensino por investigação, tratando em minúcia a atividade de concepções prévia sobre o Universo e as três atividades investigativas desenvolvidas. Na última seção desse capítulo

apresentamos nossa análise acerca da avaliação da sequência didática, feita pelos estudantes – ao se enxergarem parte essencial do processo – com base no questionário de opinião respondido por eles ao final da intervenção.

O quinto, e último capítulo corresponde às considerações finais dessa pesquisa. Nele levantamos os principais pontos de nossas conclusões com relação às aprendizagens dos estudantes observadas e os aspectos que contribuíram na produção desses efeitos, bem como as implicações/ relevância dessa pesquisa para a área e sua influencia em meu processo de formação profissional, suas limitações e perspectivas de estudo futuras.

Por fim, no Apêndice, trazemos todo o material produzido e utilizado na intervenção educacional que sustentou essa pesquisa, o texto produzido para subsídio teórico ao professor, o material multimídia utilizado e as atividades investigativas e questionário utilizados, apresentados em seu corpo e em um CD com menu interativo. Tal material é destinado a eventuais professores interessados no ensino da Cosmologia e na adoção da perspectiva do ensino por investigação no Ensino Médio.

CAPÍTULO 2 – O REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO

O Ensino de Física vive um período de mudanças e inovações dentro do cenário da educação brasileira, considerando a difusão da pesquisa na área propiciada pela ampliação e pela criação de programas de pós-graduação em nível de mestrado voltados para a formação dos profissionais que atuam na educação básica. Uma significativa parte das pesquisas realizadas está voltada para propostas de atualização e aprimoramento curricular, trazendo a sugestão da inserção da FMC no currículo do ensino médio como subterfúgio da integração escola-sociedade, unindo a Física de sala de aula ao cotidiano do estudante (TERRAZZAN, 1992; OSTERMANN; MOREIRA, 2000; SANCHES, 2006; PEREIRA; OSTERMAN 2009; SILVA; ARENGHI; LINO, 2013).

Segundo Sanches (2006), o panorama histórico do Ensino de Física, em que se desenvolve pesquisa com a presença dos conteúdos da FMC e a sua discussão em sala de aula:

[...] desde a década de 70, a pesquisa na área de ensino de Física vem desenvolvendo parte de sua produção voltada para as novas perspectivas curriculares. [...] Mas, foi somente a partir de meados da década de oitenta que a linha de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio começou a questionar, com maior intensidade, os temas de Física tradicionalmente ensinados nas escolas (SANCHES, 2006, p. 18).

A autora ainda faz menção à considerável quantidade de resultados pertinentes divulgados, no que se relaciona à pesquisa na área do ensino da FMC no ensino médio, de modo que essa já possa ser considerada uma linha de pesquisa consolidada dentro do Ensino de Física.

Terrazzan (1992) já chamava a atenção para a necessidade de uma reformulação do Ensino de Física que até então continuava a seguir a mesma sequência traduzida de manuais estrangeiros utilizados em séculos passados. Nessa época, já propunha uma atualização com a inclusão de conteúdos da FMC e apontava alguns critérios para seleção de conteúdos adequados ao tratamento da Física do ensino médio, antigo 2º grau:

[...] deve se basear no equilíbrio entre as necessidades que a própria ciência física impõe para que haja consistência na apresentação dos tópicos e para que privilegie leis gerais e conceitos fundamentais.

Deve-se refletir também sobre as possibilidades de desenvolvimento desses tópicos com poucas exigências de cálculos matemáticos.

Não se trata, é claro, de abandonar o estudo da Física Clássica, mesmo porque, em muitos momentos, ela é o suporte para o entendimento dos conceitos desenvolvidos na Física Moderna, a qual lhe sucedeu historicamente. [...]

[...] Nessa perspectiva, uma sugestão possível seria a inserção de temas relativos à Física Moderna e Contemporânea, como decorrência da discussão dos limites dos modelos clássicos.

Outra possibilidade a ser investigada é a de se apresentar os conceitos, os modelos e as teorias da Física Moderna, sem se fazer referência aos modelos e aos conceitos clássicos. Há autores que defendem essa ideia.

Pode-se dizer que, em geral, não se admite mais a possibilidade de um retorno aos antigos manuais, os quais apresentavam rudimentos de Física Moderna em seguida ao estudo do Eletromagnetismo, ao final do 2º grau, considerando assim que a compreensão destes novos conceitos depende de uma compreensão exaustiva dos conceitos de Física Clássica. (TERRAZZAN, 1992, p.211, 212)

O autor salienta ainda que todo processo de redefinição dos conteúdos de Física no ensino médio “implica, necessariamente, a rediscussão do nível de profundidade dos tópicos tratados, o que remete, por fim, para a questão das metodologias a serem empregadas” (TERRAZZAN, 1992, p.212).

A motivação para a discussão da introdução de tópicos da FMC no ensino médio, bem como a pesquisa nessa linha, foi impulsionada por um grupo de trabalho organizado na III Conferência Interamericana sobre Educação em Física (BAROJAS, *apud* OSTERMANN; MOREIRA, 2000), que elencou algumas razões para que os estudantes tivessem acesso a esse conteúdo, entre elas são citadas:

Despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;

Os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não vêem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;

É do maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física; é mais divertido para o professor ensinar tópicos que são novos. O entusiasmo pelo ensino deriva do entusiasmo que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que o entusiasmo tem sobre o bom ensino;

Física Moderna é considerada conceitualmente difícil e abstrata; mas, resultados de pesquisa em ensino de Física têm mostrado que, além da Física Clássica ser também abstrata, os estudantes apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-la. (OSTERMANN; MOREIRA 2000, p.24)

Além de tais razões apontadas para a atualização do currículo, Ostermann e Moreira (2000) apresentam algumas justificativas para a inserção de tópicos de FMC no ensino médio, segundo a ótica de alguns autores, dentre elas destacamos:

Para Terrazzan (1992,1994), a tendência de atualizar-se o currículo de Física justifica-se pela influência crescente dos conteúdos contemporâneos para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como **a necessidade de formar um cidadão consciente e participativo que atue nesse mesmo mundo.**

[...] Stannard (1990) justifica a atualização curricular ao relatar um levantamento feito com estudantes universitários que mostrou que é a Física Moderna - relatividade restrita, partículas elementares, teoria quântica, astrofísica - que mais **os influencia na decisão de escolher Física como carreira.** [...]

[...] Gil et al. (1987) acreditam que o ensino de FMC a alunos secundaristas se reveste de grande importância, uma vez que a introdução de conceitos atuais de Física pode contribuir para **dar uma imagem mais correta desta ciência e da própria natureza do trabalho científico.** [...]

[...] Paulo (1997) considera pertinente a introdução de FMC no ensino médio, visto que esta faz parte do cotidiano da sociedade contemporânea. Ao ter noções de tópicos de FMC, o aluno dará sentido à Física, fazendo relações com o mundo que o cerca. Acredita, também, que a introdução da FMC no currículo das **escolas pode proporcionar a superação de certas barreiras epistemológicas fundamentais para o conhecimento do indivíduo sobre a natureza. Para esse autor, o entendimento de FMC fará o indivíduo ter uma capacidade cognitiva maior.** [...] (OSTERMANN; MOREIRA 2000, p.24, 25 – grifos nossos).

Por fim, os diferentes autores identificam a necessidade de inserção de tópicos da FMC no ensino médio como artifício para uma atualização do currículo de Física, porém ressaltam a escassez de trabalhos na área sobre a sua implementação em sala de aula (OSTERMANN; MOREIRA, 2000).

Quase uma década depois, Pereira e Ostermann (2009) apresentam uma nova revisão de literatura, abrangendo a produção do período de 2000 a 2006, devido ao crescente número de publicações de artigos, onde apresentam uma classificação segundo análise dos trabalhos sobre o ensino de FMC em todos os níveis de ensino, sob a divisão de quatro categorias, a saber: i) propostas didáticas testadas em sala;

ii) levantamento de concepções; iii) bibliografia de consulta para professores; iv) análise curricular (PEREIRA; OSTERMANN, 2009).

Pereira e Ostermann (2009), ao estabelecerem as categorias, somente apresentam os tipos de pesquisas que foram realizadas dentro dessa linha, entretanto, ao considerar que tais abordagens continuam a ser feitas ainda hoje, os autores indiretamente incitam a reflexão sobre a necessidade de avaliação dos objetivos das pesquisas desenvolvidas, uma vez que se repetem em sua maioria e dessa maneira algumas características relevantes para estudo dentro dessa linha de pesquisa acadêmica acabam por serem abordadas.

No que se relaciona à bibliografia de consulta para professores e ao material de apoio, Domingui (2012) apresenta uma análise acerca da maneira como a FMC está inserida nos livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM), na qual evidencia as distintas importâncias dadas pelos autores aos conteúdos. Alguns autores consideram a inserção da FMC imprescindível e dedicam a ela capítulos exclusivos para discussão dos tópicos ao longo dos volumes, enquanto outros a colocam em segundo plano, incluindo pequenos textos ou comentários em meio aos capítulos que abordam predominantemente a Física Clássica, inserindo algumas vezes alguns tópicos como sugestão de leitura complementar.

Os trabalhos mais frequentemente encontrados na literatura se dedicam a propor a transposição dos conteúdos da FMC para o ensino médio por meio de uma linguagem acessível a tal nível de ensino, em contrapartida, a investigação acerca da formação do docente em exercício no ensino médio para a prática dos conteúdos associados à FMC em sala de aula não se apresenta desenvolvida de forma efetiva (DOMINGUINI, 2012).

Mesmo que os conteúdos de FMC sejam apresentados nos livros didáticos existentes (DOMINGUINI, 2012; DOMINGUINI; MAXIMIANO; CARDOSO, 2012) o que se observa como argumentação em tais trabalhos é uma:

[...] reprodução das determinações dos documentos oficiais e também uma "rede" de reprodução das justificativas dos trabalhos pioneiros da área e que não correspondem mais às necessidades da área no cenário atual (SILVA; ARENGHI; LINO, 2013, P. 80).

Hoje, mais de quarenta anos após o início das pesquisas, nota-se o êxito dos esforços para a inserção da FMC no ensino médio no amparo dado por legislações e documentos oficiais amplamente divulgadas, tais como, Lei de Diretrizes e Bases da Educação de 1996, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio de 1998 e as orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais de 2002, ao apresentarem a ensejada atualização curricular para o novo ensino médio no Brasil.

Entretanto, superada a justificativa da atualização curricular, há de se ressaltar que as discussões em torno do tema devem acompanhar a evolução do contexto histórico das pesquisas nessa área. Mais que se apoiar no que promulgam as recomendações governamentais, as pesquisas acadêmicas atuais poderiam dirigir seus argumentos e motivações na defesa de outras justificativas que encaminhem a prática de tais reflexões em sala de aula.

Em suma, com ciência da necessidade da realização de mais trabalhos que discutam propostas didáticas para implementação da FMC em sala de aula, essa pesquisa vai ao encontro de tal demanda, propondo uma intervenção a partir de uma sequência didática para efetiva inserção de alguns tópicos sob uma perspectiva diferenciada, apoiada no ensino por investigação e conduzida através da história da Evolução do Universo, que descreveremos no decorrer da dissertação.

2.1.1 DOCUMENTOS OFICIAIS BRASILEIROS E O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Os documentos oficiais brasileiros para a educação, a saber, LDB (BRASIL, 1996), os PCNEM (BRASIL, 1998) e as PCN+ (BRASIL, 2002) corroboram com as propostas de inclusão da FMC no ensino médio e também evidenciam a sua necessidade.

A LDB (BRASIL, 1996), em seu artigo 35, inciso IV, ao estabelecer as orientações para a educação básica, afirma como uma das finalidades do ensino médio “a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos,

relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.” Também orienta, no artigo 36, em seu § 1º, incisos I e II, ao estabelecer as diretrizes para estruturação do currículo, especifica que conteúdos e metodologias devem ser organizados de forma que o educando ao final do ensino médio demonstre “domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna”, além de um “conhecimento das formas contemporâneas de linguagem” (BRASIL, 1996, p.14).

As orientações dos artigos 35 e 36 da LDB são reforçadas pela Resolução nº 2/2012, que estabelece as novas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio em seu artigo 4º inciso IV e no artigo 12, inciso III, alíneas a) e b), respectivamente, propondo uma educação científica para a atualidade na formação do estudante deste nível de ensino (BRASIL, 2012).

Os PCNEM apresentam também orientações para o estabelecimento de um

Ensino Médio que, sem ser profissionalizante, efetivamente propicie um aprendizado útil à vida e ao trabalho, no qual as informações, o conhecimento, as competências, as habilidades e os valores desenvolvidos sejam instrumentos reais de percepção, satisfação, interpretação, julgamento, atuação, desenvolvimento pessoal ou de aprendizado permanente, evitando tópicos cujos sentidos só possam ser compreendidos em outra etapa de escolaridade (BRASIL, 1998, p.4).

Tais orientações remetem a uma reflexão e conduzem ao estabelecimento de um novo sentido para o Ensino de Física nessa etapa da educação básica, apontando cada vez mais para uma abordagem mais atual para essa ciência, coerente à contextualização da FMC.

No que se relaciona diretamente aos conhecimentos de Física, os PCNEM orientam que o ensino desse componente curricular deve contribuir para formação de uma *cultura científica efetiva*, assentindo as discussões atuais acerca da FMC no ensino médio ao apresentar a Física como:

um conhecimento que permite elaborar modelos de evolução cósmica, investigar os mistérios do mundo submicroscópico, das partículas que compõem a matéria, ao mesmo tempo que permite desenvolver novas fontes de energia e criar novos materiais, produtos e tecnologias. Incorporado à cultura e integrado como instrumento tecnológico, esse conhecimento tornou-se indispensável à formação da cidadania contemporânea (BRASIL, 1998, p.22).

O documento ainda ressalta a importância de uma renovação nas abordagens dos conteúdos em sala de aula, comumente restritos à Física Clássica, e aponta a necessidade de “rediscutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada” (BRASIL, 1998, p.23), e propõe dar ao Ensino de Física novas dimensões que vão além da mera organização curricular de conteúdos, promovendo um “conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem” (BRASIL, 1998, p.23) e, sobretudo uma educação científica atual ao:

Apresentar uma Física que explique a queda dos corpos, o movimento da lua ou das estrelas no céu, o arco-íris e **também os raios laser, as imagens da televisão e as formas de comunicação**. Uma Física que explique os gastos da “conta de luz” ou o consumo diário de combustível e **também as questões referentes ao uso das diferentes fontes de energia em escala social, incluída a energia nuclear, com seus riscos e benefícios. Uma Física que discuta a origem do universo e sua evolução** (BRASIL, 1998, p. 23 - grifo nosso).

Ao considerar o ensino médio “um momento particular do desenvolvimento cognitivo dos jovens” (BRASIL, 1998, p.23), os PCNEM afirmam que o aprendizado de Física favorece uma construção de sentidos práticos e conceituais que conduzem o estudante ao desenvolvimento de habilidades e competências caracterizadas por um olhar mais crítico sobre a realidade vivenciada, capaz de emitir opiniões relevantes em relação aos aspectos físicos observados nos fenômenos (BRASIL, 1998).

Nesse sentido, apontando para uma abordagem coesa à FMC, o documento afirma que, para alcançar o almejado desenvolvimento dessas habilidades e competências, a escolha dos conteúdos e temas a serem trabalhados é de suma importância, de modo que o aprendizado de Física estimule o estudante a:

acompanhar as notícias científicas, orientando-os para a identificação sobre o assunto que está sendo tratado e promovendo meios para a interpretação de seus significados. Notícias como uma missão espacial, uma possível colisão de um asteroide com a Terra, um novo método para extrair água do subsolo, uma nova técnica de diagnóstico médico envolvendo princípios físicos, o desenvolvimento da comunicação via satélite, a telefonia celular, são alguns exemplos de informações presentes nos jornais e programas de televisão que deveriam também ser tratados em sala de aula (BRASIL, 1998, p.27).

No intuito de dar mais amplitude às propostas dos PCNEM e orientar sua implementação, no ano de 2002 foram publicados os PCN+ que estabeleceram

orientações complementares e mais objetivas para a ação didático-pedagógica. Para o Ensino de Física, o documento fortalece a ideia de uma atualização curricular e sugere seis temas estruturadores para organizar os conteúdos que potencialmente desenvolveriam habilidades e competências nos alunos, propostas nos PCNEM. São eles: 1. Movimentos: variações e conservações; 2. Calor, ambiente e usos de energia; 3. Som, imagem e informação; 4. Equipamentos elétricos e telecomunicações; 5. Matéria e radiação; 6. Universo, Terra e vida.

Não se trata, certamente, da única releitura e organização dos conteúdos da Física em termos dos objetivos desejados, mas serve, sobretudo, para exemplificar, de forma concreta, as possibilidades e os caminhos para o desenvolvimento das competências e habilidades já identificadas. Exemplificam também como reorganizar as áreas tradicionalmente trabalhadas, como Mecânica, Termologia, Eletromagnetismo e Física Moderna, de forma a atribuir-lhes novos sentidos (BRASIL, 2002, p. 71).

Dentre tais temas estruturadores, chamamos atenção para dois deles que remetem à FMC mais especificamente: os temas Matéria e Radiação e Universo, Terra e vida.

O tema estruturador Matéria e Radiação afirma que, a dependência cada vez mais intensa de tecnologias – baseadas no uso de radiações e nos constantes avanços na área da micro e nanotecnologia – presentes no cotidiano contemporâneo favorece a discussão do tema, sugerindo que se promovam nos estudantes,

competências para, por exemplo, ter condições de avaliar riscos e benefícios que decorrem da utilização de diferentes radiações, compreender os recursos de diagnóstico médico (radiografias, tomografias etc.), acompanhar a discussão sobre os problemas relacionados à utilização da energia nuclear ou compreender a importância dos novos materiais e processos utilizados para o desenvolvimento da informática (BRASIL, 2002, p. 77).

Esse tema estruturador chama atenção para a discussão de tópicos específicos da FMC, uma vez que uma boa parte dos fenômenos envolvidos no desenvolvimento tecnológico depende da forma como a radiação interage com a matéria. Dessa forma, a compreensão de tais interações e de como elas possibilitam a constituição dos mais distintos materiais associados às tecnologias contemporâneas pode favorecer a construção de “uma concepção mais abrangente do universo físico” (BRASIL, 2002, p. 77).

De acordo com as PCN+, “confrontar-se e especular sobre os enigmas da vida e do universo” (BRASIL, 2002, p. 78) constitui boa parte das preocupações frequentemente presentes entre os estudantes nessa etapa de ensino, e considerando tal interesse sugerem o estudo da Cosmologia no tema estruturador “Universo, Terra e Vida”, salientando sua importância, com o objetivo de propiciar aos estudantes,

[...] uma visão cosmológica das ciências que lhes permita situarem-se na escala de tempo do Universo, apresentando-lhes os instrumentos para acompanhar e admirar, por exemplo, as conquistas espaciais, as notícias sobre as novas descobertas do telescópio espacial Hubble, indagar sobre a origem do Universo ou o mundo fascinante das estrelas e as condições para a existência da vida como a entendemos no planeta Terra (BRASIL, 2002, p. 78).

Com a abordagem, o documento sugere o entrelaçamento de tópicos da FMC, pois a Cosmologia além de envolver sistemas de grande escala como planetas, estrelas e galáxias, ocupa-se também das discussões em torno da origem e da formação do Universo, evidenciando as relações entre o mundo das partículas elementares, suas interações e seus modelos microscópicos. Além de possibilitar o estudo das radiações através dos meios de pesquisa utilizados para as comprovações dos modelos de Universo existentes (BRASIL, 2002).

Desse modo, a Cosmologia se torna um tema unificador para que o estudante possa “conhecer as teorias e modelos propostos para a origem, evolução e constituição do Universo, além das formas atuais para sua investigação e os limites de seus resultados no sentido de ampliar sua visão de mundo” (BRASIL, 2002, p. 79), ao passo que é possibilitada a reflexão e o conhecimento dos aspectos relacionados à evolução dos modelos da ciência para explicar a constituição do Universo ao longo do tempo, correlacionado matéria e radiação, bem como suas interações e especificidades associadas ao modelo aceito atualmente (BRASIL, 2002).

Como evidenciamos, documentos oficiais da educação brasileira sinalizam para a importância da inserção da FMC no cotidiano escolar da disciplina de Física do ensino médio, todavia, colocar tais orientações na prática de sala de aula ainda se revela um grande desafio.

2.2 A COSMOLOGIA

Admitindo um sentido mais amplo, a Cosmologia poderia ser definida como a busca pela compreensão da origem e da história do Universo, existindo há tanto tempo quanto a própria humanidade. Durante muitos anos, a Cosmologia esteve relacionada a questionamentos chamados de perguntas fundamentais⁴, e a busca de respostas para tais questões foram conduzidas por perspectivas tanto filosóficas e religiosas quanto científicas desde a antiguidade (HENRIQUE, 2011). De acordo com Martins (1994), essa Cosmologia, nominada por Cosmologia Antiga, estava intimamente ligada às religiões e aos mitos, e neles eram sustentados os argumentos para responder às perguntas fundamentais.

À medida que a fundamentação mitológica e as tradições religiosas eram abandonadas na argumentação de tais questionamentos, a Cosmologia gradativamente sofre transformações com o surgimento de novas teorias físicas e avanços tecnológicos aplicados nas observações astronômicas, tomando um aspecto mais *Moderno* e passando aos poucos a ser considerada uma Ciência. Nesse sentido, em concordância com Rosenfeld (2005), podemos afirmar que a Cosmologia Moderna é a Ciência que, baseada nos modelos físicos e matemáticos, estuda em grande escala a *estrutura, evolução e composição do Universo*, diferentemente da Astronomia⁵ que é voltada para o estudo do funcionamento de

⁴ Segundo Henrique (2011) essas perguntas fundamentais giravam em torno de entender que tipos de coisas existiam no Universo; Se ele foi criado por um ser supremo; Do por que da existência e de onde ele surgiu; Do seu destino e sua possível existência eterna. Questionamentos estes com certo grau de ousadia, para as quais existe uma gama de possibilidades respostas ainda na atualidade. Os debates em torno dessas questões têm permeado a reflexão de muitos estudiosos – cientistas, filósofos, historiadores e teólogos – ao longo dos últimos séculos; e olhando a fundo, é provável que respostas definitivas nunca apareçam.

⁵ É evidente que as áreas se comunicam entre si; e tomando por base uma forma “lógica”, se a Cosmologia estuda o “todo” e a Astronomia estuda “coisas” dentro do “todo”, a Astronomia, em nossa perspectiva será tomada como um campo de conhecimento dentro da Cosmologia. Boa parte dos cientistas faz a mesma consideração. Alguns pesquisadores discordam e contestam tal classificação, afirmando a Cosmologia ser um subcampo da Astronomia, fato este que não causa surpresa, ao se considerar uma área de estudo repleta de divergências e controvérsias.

pontos específicos, como os corpos celestes e seus fenômenos associados, ocupando-se da previsibilidade de eventos espaciais.

Nesse sentido, no contexto dessa dissertação tomaremos o termo Cosmologia considerando seu sentido científico associado à Cosmologia Moderna e não nos aprofundaremos na exposição de conteúdos e elementos conceituais associados ao tema, pois nosso objetivo em primeira instância é a introdução do tema e a problemática de sua abordagem no ensino médio, para apresentação do cenário em que o estudo foi desenvolvido. Entretanto, no material produzido para subsidiar a intervenção, que se encontra no corpo do Apêndice dessa dissertação – e também no CD interativo anexo ao Apêndice E –, é possível encontrar uma exposição e discussão do tema com maior profundidade, explorando um pouco mais os conceitos a ele associados, de forma adequada à abordagem no ensino médio.

2.2.1 A COSMOLOGIA NO ENSINO MÉDIO

Os PCNEM além de propor o desenvolvimento de algumas competências e habilidades a serem desenvolvidas no estudante pelo Ensino de Ciências, também chama a atenção para a mudança necessária no currículo para o Ensino de Física, incentivando e orientando a inserção da FMC no ensino médio. Mais que apontar uma nova organização dos conteúdos com a abordagem da física da atualidade, os PCNEM conduzem uma proposta que gira em torno de dar dimensões mais amplas e atuais ao Ensino de Física, de modo a promover a construção de um conhecimento contextualizado e de integração possível ao cotidiano do estudante. Tais documentos trazem em seu texto orientações para a condução do Ensino de Física nessa etapa da educação básica com a inserção de noções de Cosmologia, indicando a discussão em torno da origem, formação e evolução do Universo.

De forma peculiar, um dos papéis da Cosmologia nesse contexto é propiciar ao estudante um contato mais próximo com uma visão científica do mundo que lhe permita conhecer e articular suas concepções a respeito do Universo. Nesse

sentido, os PCN+ apontam a abordagem do tema de forma indispensável, por possibilitar ao estudante:

[...] refletir sobre sua presença e seu “lugar” na história do Universo, tanto no tempo como no espaço, do ponto de vista da ciência. Espera-se que ele, ao final da educação básica, adquira uma compreensão atualizada das hipóteses, modelos e formas de investigação sobre a origem e evolução do Universo em que vive, com que sonha e que pretende transformar (BRASIL, 2002, p.70).

Mesmo não tendo seu ensino associado aos argumentos utilitaristas no cotidiano do jovem ou de uso no mercado de trabalho, comumente usados nas justificativas em pesquisas em Ensino de Física, a Cosmologia se apresenta de forma fascinante ao envolver o desconhecido, estimulando a curiosidade intrínseca ao ser humano, favorecendo a inserção em seu âmbito de discussões problematizadoras a respeito de diversos tópicos da FMC em seu contexto. Embora a Cosmologia Moderna carregue consigo o fardo de uma abordagem com expressões técnicas e formalismo matemático que por vezes inviabiliza sua compreensão aos alunos dessa etapa de ensino, os conceitos fundamentais podem ser ensinados de maneira qualitativa por meio de analogias (HENRIQUE, 2011).

Considerando-se essa abordagem qualitativa por meio de analogias, ensinar Cosmologia no ensino médio se faz pertinente ao passo que, no contexto do ensino de FMC, o tema pode também estimular os estudantes para o aprendizado de diversos outros conteúdos desta área, além da possibilidade de ampliação da forma como enxergam o mundo que os cercam.

Entretanto, mesmo sendo orientada pelo tema estruturador Universo, Terra e Vida, incluído nos PCN+, a abordagem da Cosmologia nos livros didáticos destinados ao ensino médio – e também ao ensino superior – se faz de forma superficial e, portanto, insatisfatória. Em uma análise sobre a apresentação dos conteúdos da FMC nos livros didáticos para o ensino médio, Domingui, Maximiano e Cardoso (2012) apresentam um quadro descritivo de tais conteúdos nos livros aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático do ano de 2012 (PNLD 2012) e que foram utilizados nas escolas públicas do país até o ano de 2014. Os autores explicitam que a abordagem de alguns tópicos da FMC é feita de forma satisfatória em todos os livros do PNLD 2012 sob a forma de textos dispersos ao longo dos livros e em até

capítulos específicos que compõem os volumes de cada coleção, contudo observamos que os conteúdos associados à Cosmologia e seu objeto de estudo são escassos nesses exemplares.

Procedemos, portanto, uma análise dos dez títulos aprovados no PNLD de 2012⁶ direcionada aos conteúdos da Cosmologia, e por meio dela foi possível observar que apenas seis deles relacionam de forma explícita tais conteúdos em seu corpo.

A coleção *Física em Contextos* (PIETROCOLA, M. *et al.*, 2010), no Volume I, apresenta a Unidade 1 com o capítulo inicial, *Do Caos ao Cosmos*, trazendo uma contextualização da Cosmologia Antiga e da Cosmologia Moderna e informações sobre o modelo do Universo em expansão. Além disso, traz ainda neste volume, na Unidade 4, um capítulo sobre a *História da Cosmologia*, com uma abordagem histórica tendo foco na Cosmologia Antiga, não apresentando estudos atuais.

A coleção *Quanta Física* (KANTOR, C. A. *et al.*, 2010) em seu Volume II, aborda o estudo do *cosmos* na Unidade 2 e apresenta um capítulo sobre a *Evolução do Universo*, trazendo elementos e discussões com uma linguagem simples, porém rica em conceitos científicos, contextualizando a evolução história da Cosmologia Moderna. A abordagem da Cosmologia é feita de maneira semelhante à que propomos em nossa pesquisa, partindo da Evolução do Universo, contudo a obra não aprofunda a discussão dos tópicos e não contextualiza à FMC.

Os outros quatro títulos, *Física e Realidade* (GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C., 2010), *Física para o Ensino Médio* (FUKE, L. F.; YAMAMOTO, K., 2010), *Física: Ciência e Tecnologia* (TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A., 2010) e *Conexões com a Física* (SANT'ANNA, B. *et al.*, 2010), apenas mencionam o *Big Bang*, porém não discorrem de forma contextualizada os eventos envolvidos, suas consequências e sua essência como um dos modelos cosmológicos propostos ao longo da trajetória dessa ciência. A abordagem é feita de forma superficial, em muitos casos nos capítulos destinados à Gravitação – comum em todos os exemplares aprovados.

⁶ A análise das obras aprovadas no PNLD de 2012 foi feita e tomada como base devido ao fato da intervenção que sustentou a pesquisa ter sido realizada no ano de 2014, período em que os livros escolhidos ainda estavam em uso nas salas de aula.

Devido ao lançamento do edital do PNLD 2015, estendemos nossa análise, centrada na abordagem do tema Cosmologia, aos títulos nele aprovados para o componente curricular Física por meio do Guia de Livros Didáticos (GLD), disponibilizado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) aos professores de todo o país como uma ferramenta para o processo de escolha.

O GLD apresenta uma resenha das 14 obras recomendadas, e chama a atenção para a evolução no percentual de aprovação de 27% em 2009 para 70% em 2015, o que sugere uma maior “sintonia e aproximação entre o processo de elaboração dessas obras e as exigências dos editais de convocação para o processo inscrição e avaliação de obras didáticas do PNLD” (BRASIL, 2014, p.07). Contudo, a Física continua sendo apresentada na maioria das coleções seguindo uma sequência que se tornou padrão nessa área curricular, dando maior foco à Física Clássica e dedicando apenas um capítulo ao final do último volume à FMC.

No que se refere à abordagem do tema Cosmologia e sua discussão no contexto da ciência, de acordo com o GLD as obras aprovadas continuam deixando a desejar⁷. Das 14 obras aprovadas no edital PNLD 2015, todas as dez aprovadas no edital anterior foram mantidas, com atualização das edições de 2010 para 2013, porém não apresentaram mudança no corpo de conteúdos sobre Cosmologia. Das novas quatro obras aprovadas (*Física* da Editora Positivo; *Física* da Editora Ática; *Física* da Editora FTD e *Ser Protagonista: Física* da Editora SM) duas destinam um capítulo para a discussão da Cosmologia. Na obra *Física*, da editora Ática, o Volume III traz em a sua Unidade 4 o Capítulo intitulado *Cosmologia e Partículas Elementares*. Já na obra *Ser Protagonista: Física*, da Editora SM, a discussão de tópicos da Cosmologia é feita no capítulo *A Física do Muito Grande* que constitui a Unidade 3 do terceiro Volume desta obra.

É notável o aumento, em nível percentual, das obras aprovadas no edital do PNLD 2015 que abordam o tema Cosmologia em seu corpo quando comparadas ao edital de 2012, contudo ainda estamos distantes de um cenário ideal. Cenário este, com

⁷ O GLD do PNLD 2015 não apresenta detalhadamente o conteúdo abordado em cada capítulo, dessa forma nossa análise tomou como base os conteúdos programáticos apresentados e a análise fornecida pelo documento, não se aprofundando em pequenas citações ao longo dos capítulos como feito na análise das obras do PNLD 2012.

livros didáticos destinados a essa etapa da educação básica que, não somente mencionem o conteúdo superficialmente em atendimento às orientações do PCN+, mas que o abordem de maneira dinâmica, contextualizada, e coerente aos avanços e descobertas atuais dessa ciência.

Com base em tais observações da literatura, destinada à utilização nas escolas para fins didáticos, é possível afirmar que a escassez de material dificulta a efetiva inserção e a discussão do tema no ensino médio, uma vez que não viabiliza de maneira simples o acesso a tais conteúdos, por muitas vezes áridos à maioria dos professores. Em nosso trabalho, propomos uma sequência didática para abordagem de tópicos da FMC no contexto da Cosmologia Moderna a partir da história da Evolução do Universo, sob a perspectiva do ensino por investigação. Sugerimos uma nova abordagem e produzimos material para subsidiar o trabalho do docente em sala de aula, com a elaboração de um texto sobre Cosmologia e FMC de apoio ao professor, produção de material multimídia para utilização nas aulas expositivo-dialogadas e propostas de atividades de cunho investigativo para serem desenvolvidas no âmbito das aulas.

2.3 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO E A APRENDIZAGEM EM CIÊNCIAS

2.3.1 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

As mudanças no Ensino de Ciências atravessaram os séculos e continuam nos dias atuais, sendo sua principal meta o estabelecimento de objetivos atingíveis e de metodologias que de fato promovam uma aprendizagem científica, que prepare o indivíduo para os enfrentamentos da sociedade tecnológica em que vivemos, sempre em constante evolução.

Até o final do século XIX, a participação do Ensino de Ciências na educação científica em todo o mundo era muito pequena, uma vez que o currículo escolar priorizava o estudo da matemática e da gramática. Ainda nessa época, alguns

cientistas americanos e europeus influentes reivindicaram maior participação nas definições curriculares para que fosse contemplado o objetivo de ensinar aos alunos a realizar investigações científicas, defendendo a ideia de que a Ciência apresentava um diferencial por oferecer aos indivíduos a possibilidade de desenvolvimento de uma lógica indutiva. A imagem de Ciências apresentada por eles tinha como base a observação e o raciocínio indutivo (RODRIGUES; BORGES, 2008; ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

De acordo com Chalmers, a lógica indutiva está associada a procedimentos de observação minuciosa de um fenômeno com o objetivo de se construírem generalizações. Nesse processo, o estudante tem que “aprender a observar o mundo natural e formular conclusões a partir de suas observações” (CHALMERS, 2000, *apud* ZÔMPERO; LABURÚ, 2011, p.70). A proposta de indução é uma abordagem para o Ensino de Ciências voltado para o desenvolvimento de práticas de ensino envolvendo a utilização do laboratório em uma proposta investigativa.

Nesse sentido, Deboer (2006, *apud* RODRIGUES; BORGES, 2008) chama a atenção para três formas de Ensino de Ciências que surgiram durante o século XIX, sustentadas pelo uso do laboratório em uma proposta investigativa. A primeira é chamada *descoberta verdadeira*. Nela os estudantes possuíam o máximo de liberdade para pesquisar o mundo natural autonomamente e segundo seus interesses, como os cientistas da época. A segunda forma, denominada *verificação*, trata-se de uma abordagem na qual os estudantes eram conduzidos à confirmação de fatos ou princípios científicos em um laboratório. Essa estratégia de ensino é também conhecida como *não científica*, pois os estudantes já tinham conhecimento do que deveriam encontrar. A terceira foi intitulada *investigação (inquiry)*, caracterizada por um processo de descoberta orientada, na qual os estudantes são levados à busca de soluções para questões cujas respostas desconhecem (RODRIGUES; BORGES, 2008; ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

Embora tenham sido empregados esforços para a difusão de uma perspectiva de Ensino de Ciências por investigação nas salas de aula, os métodos tradicionalistas baseados na transmissão de informações dos livros-texto permaneceram predominantes até o final do século. Somente no início do século XX o filósofo e pedagogo americano John Dewey apresentou críticas à perspectiva do Ensino de

Ciências como mera transmissão de informações que era praticado até então, afirmando que esse tratamento dado ao ensino apenas tinha como objetivo a memorização de conteúdos e defendia ser a Ciência mais que um corpo de conhecimentos a ser aprendido. Defende-se, assim, que a concepção de aprender Ciências implica a reflexão dos processos utilizados em Ciências e não simplesmente a organização e transmissão de um corpo de conhecimentos. (RODRIGUES; BORGES, 2008; SÁ, 2009; ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

Posteriormente Dewey propôs a inclusão da perspectiva de investigação na educação científica em seu livro publicado em 1938, *Logic: The Theory of Inquiry*, onde trazia a discussão dos principais estágios do método científico, como indução, dedução, lógica matemática e empirismo, articulando os objetivos do Ensino de Ciências por meio da investigação, buscando desenvolver o pensamento e a razão em torno do entendimento dos processos relacionados à Ciência (RODRIGUES; BORGES, 2008).

Para Dewey, a experiência – não a simples utilização de experimentos – e a aprendizagem caminham lado a lado, e quando a “experiência educativa é refletida, a aquisição de conhecimento será seu resultado natural, portanto, a experiência dá significado à vida” (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011, p.70). Para ele, o aprendizado dentro da educação científica sofria direta influência das experiências dos estudantes, pois eles já vivenciaram diversas delas ao chegarem à escola, e a reorganização de tais experiências por meio da reflexão constituem o processo educativo e a qualidade de novas aprendizagens (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

A participação ativa do aluno em seu processo de aprendizagem era defendida por Dewey, configurando-se essa uma forma de preparar os alunos para serem pensadores críticos na busca de respostas ao se depararem com um problema a ser solucionado, e não simplesmente disciplinar o raciocínio indutivo por meio do método científico. Logo, Dewey estabeleceu uma reinterpretação para os passos do método científico buscando a inserção do pensamento reflexivo da experiência que propunha. Tais passos seriam constituídos por: “apresentação de problema, formação de hipótese, coleta de dados durante o experimento e formulação de conclusão” (BARROW, 2006 *apud* ZÔMPERO; LABURÚ, 2011, p.71).

Desse modo, durante a primeira metade do século XX, devido ao aumento da urbanização, da imigração e dos problemas associados à saúde pública, a educação para a Ciência direcionou seus objetivos para os valores sociais, e o *inquiry* – como uma perspectiva de se ensinar por meio da investigação – deixou de ser visto como uma simples forma de desenvolvimento das habilidades de raciocínio dos alunos e passou a ser encarado como uma forma de se desenvolver as habilidades necessárias à resolução de problemas de real relevância social (RODRIGUES; BORGES, 2008; ZÔMPERO; LABURÚ, 2011). Segundo Zômpero e Laburú (2011, p.71), a filosofia de Dewey conduzia ao pensamento de que “para preparar os estudantes para a vida, a educação formal deveria dar a eles habilidades para formular questões significativas sobre os problemas sociais”.

Entretanto, no cenário norte-americano, a perspectiva do Ensino de Ciências com base na investigação somente ganha força a partir da segunda metade do século XX com a colaboração do educador Joseph Schwab, uma das vozes influentes nesse movimento de reelaboração da educação científica na época. Para ele, o uso da investigação nos processos de ensino possibilita aos alunos a compreensão dos processos da Ciência, uma vez que, em sua concepção, as estruturas conceituais e procedimentais eram indissociáveis ao se pensar a Ciência como um todo. Defendia ainda que tal compreensão dos conhecimentos científicos deveria ser refletida nas metodologias de ensino e aprendizagem de Ciências, de modo que os professores viessem a apresentar aos alunos a investigação, dando atenção ao uso de laboratórios e experimentos nas aulas, a fim de promover uma alfabetização da cultura científica, possibilitando aos estudantes conhecer como os cientistas alcançam os resultados em suas pesquisas valendo-se dos processos de investigação (SÁ, 2009; ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

De acordo com Zômpero e Laburú (2011), orientados por essa perspectiva de ensino, os professores passaram a estimular os estudantes a observarem, analisarem e buscarem de forma autônoma e crítica soluções para os problemas característicos do contexto social no qual estavam inseridos.

Nessa perspectiva, as atividades investigativas eram utilizadas como orientação para ajudar os estudantes a pesquisar problemas sociais como o aquecimento global, a poluição, dentre outros. Sendo assim, o objetivo da educação científica era o entendimento dos conteúdos, dos valores

culturais, da tomada de decisões relativas ao cotidiano e à resolução de problemas. (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011, p.72).

No final do século XX, uma recomendação de um Ensino de Ciências que promovesse de fato uma alfabetização coerente com a natureza da investigação científica faz com que o Ensino por Investigação ganhe destaque nos Estados Unidos através da publicação dos documentos *Science For All Americans* (1989) e *National Science Education Standards* (1996), nos quais estavam presentes orientações para o desenvolvimento, nos estudantes, de competências e habilidades que lhes fizessem tomar real conhecimento do ambiente, dos objetos e dos dispositivos ao seu redor, bem como possibilitassem o aprendizado de procedimentos, tais como observar, anotar, manipular, descrever, elaborar perguntas e buscar respostas para elas (RODRIGUES; BORGES, 2008; ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

Nem mesmo no cenário educacional norte-americano, local onde essa perspectiva de ensino teve efetiva consolidação, a expressão Ensino por Investigação tem uma única definição. Várias denominações são atribuídas a esse tipo de ensino. De acordo com Zômpero e Laburú (2011, p. 68),

Na literatura, encontram-se diferentes conceituações de inquiry, como: ensino por descoberta; aprendizagem por projetos; questionamentos; resolução de problemas, dentre outras. A perspectiva de ensino com base na investigação possibilita o aprimoramento de raciocínio e das habilidades cognitivas dos alunos, e também a cooperação entre eles, além de possibilitar que eles compreendam a natureza do trabalho científico.

No Brasil, o Ensino de Ciências por Investigação ainda não se consolidou, permanecendo pouco predominante e minimamente enfatizado nos documentos oficiais (RODRIGUES; BORGES, 2008; ZÔMPERO; LABURÚ, 2011). Os PCNEM não o abordam diretamente em seu texto, entretanto, no que tange a disciplina de Física, apresentam orientações que certamente potencializam a utilização dessa perspectiva de ensino em sala de aula ao discorrer sobre o desenvolvimento de competências e habilidades que evidenciem a necessidade da promoção de autonomia para o aprendizado dos estudantes; a independência de pensamento e ações mediante a discussão de problemas propostos em sala de aula; a argumentação e a reflexão crítica e o reconhecimento da mutabilidade da Ciência mediante os constantes avanços científicos. (BRASIL, 1998)

A discussão acerca da perspectiva do Ensino por Investigação, tomada como uma maneira de se refletirem as práticas pedagógicas em sala de aula no que se relaciona ao Ensino de Ciências, vem sendo abordada por alguns autores, no sentido de se pensar e reavaliar o papel do currículo e da escola na formação do estudante (AZEVEDO, 2004; CARVALHO, 2013). A investigação, assim, está associada à problematização de situações e fenômenos no intuito de que o conhecimento científico seja aprendido por meio da reflexão e da tomada de consciência de todo o processo educativo.

De acordo com Munford e Lima (2007), o Ensino por Investigação, diferente do ensino tradicionalista centrado no professor com a mínima atuação do aluno, constitui uma perspectiva que tem como base a problematização, a elaboração de hipóteses e o teste de hipóteses, feitos através da pesquisa e do debate, podendo envolver práticas experimentais ou não na busca de uma solução. Uma abordagem investigativa em sala de aula pressupõe “trazer para a escola aspectos inerentes à prática dos cientistas, aproximando a ciência escolar da ciência acadêmica” (MUNFORD; LIMA, 2007, p.77).

Em uma proposta de Ensino por Investigação, o aluno assume uma postura influente na aula, saindo da posição de observador – comum ao ensino tradicional – passando a pensar, questionar, agir, interferir e inferir, tornando-se mais ativo em sala de aula. A mudança de atitude tanto do professor quanto do aluno fica evidente. O professor, em um processo de mediação, proporciona aos alunos autonomia para conduzirem a busca pela solução dos problemas levantados (AZEVEDO, 2004; CARVALHO, 2013) facilitando o desenvolvimento das tipologias de conteúdos conceitual, procedimental e atitudinal no processo de ensino e aprendizagem (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009).

Utilizar atividades investigativas como ponto de partida para desenvolver a compreensão de conceitos é uma forma de levar o aluno a participar do seu processo de aprendizagem, sair de uma postura passiva e começar a perceber e agir sobre o seu objeto de estudo, relacionando o objeto com acontecimentos e buscando as causas dessa relação, procurando, portanto, uma explicação causal para o resultado de suas ações e/ ou interações (AZEVEDO, 2004, p. 22).

No processo de mediação, a intervenção do professor no decorrer das atividades dependerá dos objetivos estabelecidos e das características dos alunos (AZEVEDO,

2004; BORGES, 2002; CARVALHO, 2013). Dessa forma, o professor deverá conhecer muito bem o assunto, ter domínio do conteúdo e ter plena consciência dos objetivos da atividade, sendo necessária uma postura questionadora e argumentadora para conduzir as questões que surgem no decorrer do processo, agindo como orientador e facilitador da aprendizagem dos estudantes, coerente com o objetivo da atividade proposta (CARVALHO, 2013).

Com base nisso, a presente pesquisa – sustentada por uma sequência didática com foco em atividades investigativas – adota uma abordagem que se assemelha às características apresentadas por Azevedo (2004), Borges (2002), Carvalho (2013), Munford e Lima (2007), Rodrigues e Borges (2008) e Zômpero e Laburú (2011), no sentido de que essa concepção de ensino inclui atividades ditas investigativas estimuladas pela proposição de um problema. De acordo com Azevedo (2004), esses problemas são apresentados aos alunos para conduzi-los ao aprendizado de procedimentos e também ao desenvolvimento de atitudes e habilidades como a argumentação, interpretação e análise, proporcionando-lhes a possibilidade de expor suas ideias e levantar suas próprias hipóteses. Assim, com a orientação do professor, os alunos se tornam protagonistas no processo de aprendizagem.

2.3.2 APRENDIZAGEM DE CONTEÚDOS: CONCEITUAL, ATITUDINAL E PROCEDIMENTAL

Uma maneira de se determinar os objetivos da educação está associada a competências e habilidades pretendidas para o educando. Até os dias atuais, os objetivos do ensino estabeleceram como prioridade o desenvolvimento de capacidades cognitivas, contudo maior relevância esteve atribuída à aprendizagem de disciplinas e matérias tradicionais, ficando na maioria das vezes o desenvolvimento das demais capacidades do indivíduo em segundo plano (ZABALA, 1998).

Ao se falar em Ensino de Ciências é importante nos preocuparmos com os conteúdos que pretendemos ensinar. Segundo Zabala (1998), as questões que giram em torno do papel do ensino se resumiriam na definição do que se deve *saber*, do que se deve *saber fazer* e do como se deve *ser*, envolvendo de maneira

harmoniosa todas as dimensões de conhecimento do indivíduo, conciliando conceitos, procedimentos e atitudes.

As proposições atuais para os objetivos do ensino de Ciências, em coerência com as orientações dos PCNEM e PCN+, sinalizam a necessidade de se trazer outras dimensões ao conteúdo escolar, de modo que o seu ensino conjugue no processo de aprendizagem a dimensão conceitual com as dimensões formativas e culturais, correlacionando procedimentos e atitudes (CARVALHO, 2004). Dessa forma, os conteúdos que compõem o currículo escolar passam a contemplar, além da dimensão conceitual (a mais discutida), também as dimensões procedimentais e atitudinais (ZABALA, 1998; CARVALHO, 2004).

Sobre as tipologias de conteúdos de aprendizagem, torna-se necessário deixar claro o quão amplo seus significados se tornam, ao passo que, para além da problemática do que ensinar, avançamos para o porquê e como ensinar. Assim, as questões associadas à aprendizagem de conceitos se referem ao conhecimento de símbolos, princípios, expressões e teoremas; já a dimensão procedimental refere-se ao desenvolvimento de competências, integradas por um conjunto de ações como observar, calcular, classificar, construir, inferir, dentre tantas outras; no que se refere à dimensão atitudinal, relacionam-se o aprendizado de valores, atitudes e normas – como solidariedade, responsabilidade, respeito, cooperação – e a forma de compartilhá-los de maneira coerente e reflexiva no ambiente em que se vive (ZABALA, 1998).

No processo de ensino e aprendizagem em Ciências, a familiaridade com ensino de conceitos é perceptível entre os docentes, no entanto, as atitudes e procedimentos não são adquiridos da mesma forma que os conceitos e teorias. Segundo Pozo e Gómez Crespo (2009, p.32),

[...] o objetivo da educação em atitudes deve ser, como nos outros conteúdos, promover mudanças o mais estáveis e gerais possíveis, seu sucesso vai requerer a concretização desses propositos(como por exemplo promover tolerância, cooperação, interesse pela ciência, curiosidade e espírito de indagação, rigor e precisão, defesa do meio ambiente, etc) em formas e normas de conduta que ajudem professores e alunos a perceberem essas atitudes que geralmente são tão intangíveis.

O desenvolvimento das habilidades procedimentais não está relacionada ao *saber* simplesmente, mas sim ao *saber fazer*, que é aprendido à medida em que os saberes são colocados em prática no processo de formação (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009). Na busca pela solução de um problema, a definição de objetivos, hipóteses, estratégias e a determinação dos meios de averiguação são tão importantes quanto os conceitos científicos associados. De forma geral, a aquisição de procedimentos no contexto do Ensino e Ciências deve ir além da simples manipulação e coleta de dados em um experimento, deve relacionar a técnica à estratégia concomitantemente no processo de investigação (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009; AMBRÓZIO, 2014).

No Ensino de Ciências, tem-se tentado promover nos alunos uma atitude verdadeiramente científica, ou seja, o “rigor, a atitude crítica e reflexiva, fugindo tanto do empirismo ingênuo quanto da especulação pura” (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 37), onde a Ciência é concebida como construção social do conhecimento e não tomada por um olhar estático, mas sim vista como uma maneira de se propor questionamentos e argumentações (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009).

Não obstante, a associação harmoniosa de tais tipologias de conteúdos de aprendizagem no contexto da educação científica e da sala de aula pressupõe uma mudança também na postura do professor, para conseqüentemente possibilitar uma mudança do aluno, uma vez que a referência em uma sala de aula na maioria das vezes está na postura e conduta do professor. Dessa forma,

É preciso que os professores **saibam** construir atividades inovadoras que levem os alunos a evoluírem, em seus conceitos, habilidades e atitudes, mas é preciso também que eles **saibam dirigir os trabalhos dos alunos** para que estes realmente alcancem os objetivos propostos. O **saber fazer** nesses casos é, muitas vezes, bem mais difícil do que o **fazer** (planejar a atividade) e merece todo um trabalho de assistência e de análise crítica das aulas (CARVALHO, 2004, p.9, grifos do autor).

Nesse sentido, a perspectiva do Ensino por Investigação, proposta nesta pesquisa, apresenta uma estrutura favorável à conjunção das três tipologias de conteúdos no processo educativo por orientar a ênfase da problematização na sala de aula, propondo uma aprendizagem científica pautada nos debates abertos e na autonomia do estudantes, centrada no pensar e no agir do aluno, proporcionando maior interação entre ele e o professor durante as aulas. Para o desenvolvimento de

atividades investigativas, professores são conduzidos à uma reflexão de sua prática para adoção de uma postura mais questionadora e crítica, a propor desafios em sala de aula e a estimular os estudantes, trabalhando de forma conjunta os conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais, orientando a participação ativa dos alunos e mediando o processo de construção do conhecimento.

2.3.3 APRENDIZAGEM EM CIÊNCIAS EM UMA PERSPECTIVA SOCIOCULTURAL

Nessa subseção, apresentamos o referencial teórico adotado nesta pesquisa, que tem por base a perspectiva *sociocultural*, evidenciando as ideias de *Lev Semyonovitch Vygotsky (1896-1934)*. Em concordância com Driver et al. (1999), consideramos que as práticas do ensino de Ciências devem envolver os estudantes em um novo contexto discursivo, que relaciona a interação e a apropriação de novos significados e sentidos, no que diz respeito a linguagens, conceitos e práticas, inerentes a essa cultura e área de conhecimento.

Na vertente das teorias cognitivistas, Vygotsky se apoia na premissa de que o desenvolvimento cognitivo humano não ocorre de forma independente do contexto social e cultural no qual ocorre. Para Vygotsky, “as funções superiores⁸ são socialmente formadas e culturalmente produzidas; a linguagem é um processo extremamente pessoal e, ao mesmo tempo, profundamente social” (TRAZZI, 2015, p.33).

De acordo com Vygotsky o desenvolvimento cognitivo humano se dá a partir da conversão das relações sociais em funções mentais superiores, possibilitada pela mediação. Para ele tal conversão não é direta, mas mediada pelo uso de signos⁹, e

⁸ Para Vygotsky, as funções mentais superiores estão associadas à atenção voluntária, à memória, ao pensamento verbal e conceitual, ao uso da linguagem, ao raciocínio lógico, à capacidade de planejamento, dentre outras, que não poderiam constituir-se no processo do desenvolvimento humano sem a contribuição das interações sociais (JOENK, 2002).

⁹ Um signo é algo que significa alguma coisa, como as palavras (signos linguísticos) os números (signos matemáticos), sendo fundamental para o desenvolvimento humano por mediar as relações do sujeito consigo mesmo e socialmente, sendo orientado internamente e dirigido ao autocontrole do indivíduo. Já os instrumentos se referem a algo que pode ser usado para fazer algo, sendo orientados externamente, constituindo uma atividade que é dirigida ao controle e domínio da natureza (MOREIRA, 2011).

instrumentos e é por meio dela que se dá a interiorização desses elementos construídos nas interações sociais e culturais (VYGOTSKY, 1991).

Para o autor, é por meio da interação social que a palavra alheia, enquanto signo linguístico assume o papel mediacional, ao vincular significados e sentidos na tomada de consciência do indivíduo no processo de aprendizagem. A aquisição de significados está diretamente relacionada com a interação social e cultural, pois a constituição de signos e instrumentos e seus significados, mesmo que contextuais, é feita socialmente e culturalmente (TRAZZI, 2015).

Segundo Trazzi (2015), o interesse de Vygotsky pelo estudo do significado da palavra, eloquente no ato da comunicação, era latente e tomava sua dedicada atenção ao pensamento verbalizado na formação de conceitos. Para ele, a palavra atua como um signo mediador, possibilitando a formação de um conceito. Dessa forma a “interação e a comunicação pressupõem desenvolvimento do significado da palavra e sua generalização pelo sujeito” (TRAZZI, 2015, p. 34).

A palavra nunca se refere a um objeto isolado, mas a todo um grupo ou classe de objetos. Por essa razão, cada palavra é uma generalização latente, toda palavra já generaliza e, em termos psicológicos, é antes de tudo uma generalização. Mas a generalização, como é fácil perceber, é um excepcional ato verbal do pensamento, ato esse que reflete a realidade de modo inteiramente diverso daquele como esta é refletida nas sensações e percepções imediatas (VYGOTSKY, 2001, p. 9).

Vygotsky (2001) evidencia o significado como o estreitamento na análise entre o pensamento e a linguagem e afirma que;

[...] o significado pode ser visto igualmente como fenômeno da linguagem por sua natureza e como fenômeno do campo do pensamento. Ele é ao mesmo tempo linguagem e pensamento porque é uma unidade do pensamento verbalizado. Sendo assim, fica evidente que o método de investigação do problema não pode ser outro senão o método da análise semântica, da análise do sentido da linguagem, do significado da palavra. [...] Privada do significado, ela já não pertence ao reino da linguagem. (VYGOTSKY, 2001, p. 10).

Em suma, “a comunicação sem signos é tão impossível quanto sem significado. [...] pressupõe necessariamente generalização e desenvolvimento do significado da palavra, ou seja, a generalização se torna possível se há desenvolvimento da comunicação” (VYGOTSKY, 2001, p. 12).

Como diz Tolstói, o que quase sempre é incompreensível não é a própria palavra, mas o conceito que ela exprime. A palavra está quase sempre pronta quando está pronto o conceito. Por isto há todos os fundamentos para considerar o significado da palavra não só como unidade do pensamento e da linguagem, mas também como unidade da generalização e da comunicação, da comunicação e do pensamento. (VYGOTSKY, 2001, p. 13).

Dessa forma, sobre o que se relaciona às interações sociais e culturais, Vygotsky afirma que o processo de constituição do significado da palavra como símbolo do conceito é mediado pela palavra do outro, produzindo no indivíduo um processo de internalização a partir da significação das coisas. Essa significação é configurada pela interação sociocultural. Por meio dela, da interação, é possível compreender os processos de formação de conceitos (PINO, 2000; TRAZZI, 2015).

Discorrendo ainda sobre o significado da palavra, Vygotsky expõe seu entendimento sobre a generalização dentro do processo de formação de conceitos, ao afirmar que:

Generalização e significado da palavra são sinônimos. Toda generalização, toda formação de conceitos é o ato mais específico, mais autêntico e mais indiscutível do pensamento. Consequentemente, estamos autorizados a considerar o significado da palavra como um fenômeno de pensamento (VYGOTSKY, 2001, p.398).

Para Vygotsky (1987; 2001), o processo de formação de conceitos é constituído por duas etapas: a formação de conceitos cotidianos ou espontâneos e a de conceitos científicos. Segundo Vygotsky (1987), a aquisição de conceitos científicos pelo indivíduo é proporcionada pela sua interação com outro indivíduo, havendo a mediação recorrente de outros conceitos, de modo que o sujeito, para adquiri-los, deve necessariamente direcionar sua consciência para o processo, devido ao maior grau de abstração a ele atribuído. Eles geralmente surgem e são constituídos por meio do ensino e da aprendizagem escolar. Já os conceitos cotidianos – ou espontâneos – são construídos e desenvolvidos sem uma organização rígida, a partir de cada experiência pessoal ao longo do processo de desenvolvimento, sem que o indivíduo tenha impreterivelmente sua consciência voltada para o conceito presente em cada fenômeno ou contexto vivenciado, geralmente resultado de construções culturais. Entretanto, os conceitos cotidianos e os conceitos científicos são pertencentes ao mesmo processo.

[...] trata-se do desenvolvimento de um processo único de formação de conceitos, que se realiza sob diferentes condições internas e externas mas

continua indiviso por sua natureza e não se constitui da luta, do conflito e do antagonismo entre duas formas de pensamento que desde o início se excluem (VYGOTSKY, 2001, p.261).

Através de uma relação mútua, exercem influência um sobre o outro, mesmo possuindo origens e motivações distintas.

Os conceitos científicos, por seu turno, fornecem estruturas para o desenvolvimento ascendente dos conceitos espontâneos da criança rumo à consciência e à utilização deliberada. Os conceitos científicos desenvolvem-se para baixo, através dos conceitos espontâneos; os conceitos espontâneos desenvolvem-se para cima, através dos conceitos científicos. (VYGOTSKY, 1987, p.108).

Para Vygotsky, a aprendizagem é necessária para o desenvolvimento e em suas palavras, “o processo de desenvolvimento interior do conceito sucede o processo de aprendizagem, como sombra lançada pelo objeto” (VYGOTSKY, 2001, p. 245). Considerando a estrutura complexa para formação de conceitos proposta por Vygotsky, associada ao fato de que o desenvolvimento das funções mentais superiores está intimamente relacionado com a internalização dos signos no contexto das interações sociais e culturais, o processo de aprendizagem se torna requisito para o desenvolvimento do indivíduo (TRAZZI, 2015).

Essa hipótese se baseia no fato amplamente conhecido de que a aprendizagem e, na idade escolar, o momento decisivo e determinante de todo o destino do desenvolvimento intelectual da criança, inclusive do desenvolvimento dos seus conceitos; baseia-se igualmente na suposição de que os conceitos científicos de tipo superior não podem surgir na cabeça da criança senão a partir de tipos de generalização elementares e inferiores preexistentes, nunca podendo inserir-se de fora na consciência da criança. (VYGOTSKY, 2001, p.262).

Vygotsky (1987; 2001) nos diz que, a partir da influência recíproca entre os conceitos espontâneos e científicos, o aprendiz é conduzido por meio da aprendizagem a um processo de desenvolvimento baseado na tomada de consciência dos conceitos científicos, consolidados por meio dos processos de ensino. Essa tomada de consciência, de acordo com Vygotsky (2001), tem como base a generalização dos processos psíquicos do indivíduo. Nela, os conceitos científicos por meio dos processos interacionais assumem uma característica em que “a tomada de consciência dos conceitos, ou melhor, a sua generalização e a sua apreensão parecem surgir antes de qualquer coisa” (VYGOTSKY, 2001, p. 290).

A partir das ideias de Vygotsky, podemos considerar que todo conceito é uma generalização, e que essa generalização é, ao mesmo tempo, tomada de consciência e sistematização hierárquica de conceitos, no sentido de que em um contexto de maior amplitude, um conceito dito superior ou puro, está necessariamente interligado a uma série de outros conceitos ditos co-subordinados.

Esse mesmo conceito superior pressupõe simultaneamente, uma sistematização hierárquica até dos conceitos inferiores àquele conceito e a ele subordinados com os quais ele torna a vincular-se através de um sistema de relações inteiramente determinado. Desse modo, a generalização de um conceito leva a localização de dado conceito em um determinado sistema de relações de generalidade, que são os vínculos fundamentais mais importantes e mais naturais entre os conceitos. Assim, generalização significa ao mesmo tempo tomada de consciência e sistematização de conceitos (VYGOTSKY, 2001, p. 292).

No contexto desta pesquisa, se tomarmos como exemplo o termo “galáxia”, é possível compreender como se configura inicialmente como um conceito superior ou puro, ao passo que, para sua constituição, necessita de diversos outros conceitos co-subordinados, como estrelas, nebulosas, aglomerados, planetas, satélites, dentre outros. Entretanto, o conceito galáxia passa a integrar um conceito co-subordinado quando passa a fazer parte da sistematização do conceito de Universo.

Assim, nesse interessante processo de formação de conceitos na perspectiva de Vygotsky, cabe ressaltar o papel do professor como mediador na aquisição de significados, na construção dos processos de generalização, formação de conceitos e a sua tomada de consciência, pois, sem as inter-relações sociais e culturais constituídas em sala de aula dentro do processo de ensino, não há aprendizagem e, conseqüentemente, não há desenvolvimento cognitivo, para ambos os sujeitos envolvidos.

Nas últimas décadas, as pesquisas em educação em Ciências têm sido influenciadas pela perspectiva sociocultural, ao passo que o interesse pelo processo de significação em sala de aula gradativamente passa a ter destaque, buscando a compreensão de como os significados são constituídos e desenvolvidos por meio da interação e do uso da linguagem (MORTIMER; SCOTT, 2002). Esse novo direcionamento dos estudos na área aponta para o entendimento “sobre a forma como os significados e entendimentos são desenvolvidos no contexto social da sala de aula” (MORTIMER; SCOTT, 2002, p. 284).

Nessa vertente, o foco está no processo de significação constituída pelas interações discursivas. A aprendizagem, nesse contexto, não se baseia no confronto das concepções que os estudantes já possuem com os conceitos científicos envolvidos no processo de ensino, mas sim na “negociação de novos significados num espaço comunicativo no qual há o encontro entre diferentes perspectivas culturais, num processo de crescimento mútuo” (MORTIMER; SCOTT, 2002, p.284).

Essa apresentação aos estudantes do universo dos conceitos científicos é feita no contexto escolar pelo professor, que compartilha em sala de aula o significado desses novos conceitos até então desconhecidos. Nessa perspectiva, o professor tem a importante tarefa de conduzir os estudantes no novo processo de descobertas, evidenciando as fronteiras entre os conceitos cotidianos e mediando a tomada de consciência dos conceitos científicos.

Nesse sentido, apoiamo-nos, para a constituição desta pesquisa, nas considerações de Vygotsky no que se relaciona à aprendizagem em uma perspectiva sociocultural. Conforme já explicitamos em objetivos anteriormente, buscamos compreender como a abordagem proposta para estudo da Cosmologia e de tópicos da FMC pode contribuir para o aprendizado das distintas tipologias de conteúdos.

CAPÍTULO 3 – O DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Neste capítulo apresentaremos o delineamento metodológico da pesquisa, evidenciando o percurso e o contexto em no qual desenvolvida, a descrição dos sujeitos envolvidos, os instrumentos e os métodos utilizados para a produção de dados, bem como os processos estabelecidos para sua análise e interpretação.

3.1 O DELINEAMENTO DA PESQUISA

As escolhas para o delineamento metodológico da pesquisa se deram considerando não só os seus objetivos, mas também os processos desencadeados na tentativa de atingi-los. Para tanto, observamos a importância de adotar um referencial teórico-metodológico que considerasse a parceria e o contato direto entre pesquisador e pesquisado, por acreditarmos que a influência mútua decorrente do processo estabelece a relação de aprendizado em ambos.

O pesquisador deve de fato se aproximar dos participantes da pesquisa para entender suas formas de interpretação acerca das situações vivenciadas, bem como a maneira como essas formas se organizam, no sentido de que, mais do que descrever o processo e a cultura escolar, cabe ao pesquisador inserir-se no processo de construção dessa cultura de forma colaborativa e não intrusiva, aproximando-se de pessoas, situações, locais e eventos típicos do local de pesquisa (LIBERALI, 2004).

Para Trazzi (2015, p.63), uma investigação no contexto educacional,

deve se basear em uma perspectiva social dos processos de ensino e aprendizagem e não somente em processos individuais. [...] Compreender o que os alunos dizem ou como agem nos informa como eles se comportam como observadores, como sujeitos de sua aprendizagem, pois os estudantes contribuem na atividade não somente porque isso faz sentido para eles, mas também porque eles assumem que suas contribuições serão compreensíveis para os outros.

O ambiente escolar, mais precisamente a sala de aula, é caracterizado por um contexto social e cultural que, mais que a formação para a cidadania, também estabelece o aprendizado de conhecimentos científicos, contudo, as formas de se contribuir para tal aprendizagem de maneira sólida ainda permanecem em

discussão. Para Trazzi (2015), a compreensão do processo de aprendizagem deve se basear em discurso e ações apresentados ao longo do processo e não somente no comportamento individual de cada aluno. O foco deve estar na compreensão da contribuição do estudante dentro do contexto social em que ele está inserido, no caso, a sala de aula.

Dessa forma, tomando a responsabilidade atribuída ao contexto escolar para orientação do conhecimento instituída na figura do professor, buscamos uma metodologia de pesquisa para este estudo que permitisse a investigação dos processos de construção do conhecimento de forma coletiva, baseada no desenvolvimento de uma perspectiva que, através dos processos mediacionais e dialógicos, possibilitasse a compreensão dos fenômenos envolvidos nos processos de ensino e aprendizagem.

Nesse sentido, optamos por uma pesquisa de cunho qualitativo, orientada pela perspectiva da pesquisa-ação crítico-colaborativa (BARBIER, 2002; PIMENTA, 2005; JESUS, ALMEIDA e SOBRINHO 2005). Dessa forma, a estrutura das aulas da sequência didática, o tema e a perspectiva de ensino adotada nas abordagens foram propostas inicialmente por mim. Em reuniões, elas foram discutidas, estudadas e construídas coletivamente em parceria com a professora regente, considerando as características e peculiaridades de cada turma e da escola.

3.1.1 A PESQUISA-AÇÃO CRÍTICO-COLABORATIVA

O conceito de pesquisa-ação pode ser definido como um tipo de pesquisa de base experimental que se realiza através de uma estreita associação com uma ação ou resolução de um problema, na qual os pesquisadores e os sujeitos estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (GIL, 2002).

Segundo Barbier (2002), a pesquisa-ação tem seu início a partir do momento em que o pesquisador e os sujeitos da pesquisa estabelecem um acordo de forma aberta, havendo uma reflexão constante sobre cada ação, possibilitando a qualquer momento sua revisão, indo além da prática usual de mera aplicação constituindo uma alternativa para a reformulação das práticas pedagógicas.

A pesquisa-ação submete seus resultados previamente negociados dia a dia entre o pesquisador e os participantes da pesquisa, a toda a coletividade para provocar sua avaliação. No fim da pesquisa, pode ou não haver a redação de um relatório final, [...] há sempre discussão sobre os resultados e uma proposta de novas estratégias de ação (BARBIER, 2002, p. 56).

Esse tipo de pesquisa se classifica pela indução ao questionamento, pelo envolvimento dos professores e por sua reflexão sobre suas práticas, o que conduz a um processo de reconstrução, consolidando a apropriação do conhecimento de forma partilhada, dentro de um contexto que é tanto social, como político e pedagógico (BARBIER, 2002).

Na pesquisa-ação o pesquisador “[...] não é nem um agente de uma instituição, nem um ator de uma organização, nem indivíduo sem atribuição social; ao contrário, ele aceita eventualmente esses diferentes papéis em certos momentos de sua ação e de sua reflexão” (BARBIER, 2002, p.19).

Segundo Ibiapina (2008), a pesquisa classificada como colaborativa envolve pesquisadores e professores tanto nos processos de construção de conhecimento quanto no desenvolvimento da pesquisa propriamente dita, ao passo que o trabalho colaborativo entre eles faz com que saberes sejam produzidos pelo compartilhamento de estratégias, promovendo assim desenvolvimento profissional e acadêmico.

A pesquisa colaborativa, portanto, reconcilia duas dimensões da pesquisa em educação, a produção de saberes e a formação contínua de professores. Essa dupla dimensão privilegia pesquisa e formação, fazendo avançar os conhecimentos produzidos na academia e na escola (IBIAPINA, 2008, p.115).

Por sua vez, a pesquisa colaborativa tem por objetivo a reflexão das práticas realizadas, de modo a permitir aos professores a tomada de poder no que relaciona as investigações e transformações de suas práticas e ações em sala de aula, de forma conjunta com o pesquisador (PIMENTA, 2005).

Isso posto, interpretamos ser a pesquisa-ação forma de investigação do contexto educacional, em suas especificidades sociais e culturais, constituída com base nos processos coletivos de colaboração e reflexão, que objetiva a promover transformações no ambiente e sujeitos envolvidos.

Segundo Jesus, Almeida e Sobrinho (2005, p. 3), a pesquisa-ação crítico-colaborativa assume uma “forma de investigação-ação crítica para a educação e não sobre a educação”, assumindo um caráter emancipatório, que articula de forma crítica as teorias da educação à prática, em um processo constituído simultaneamente pela ação e pela investigação. Nesse tipo de perspectiva metodológica, os pesquisadores estabelecem uma relação colaborativa com os professores, e juntos articulam suas preocupações, planejam as ações e as estratégias para as mudanças desejadas, observam os problemas e os efeitos das ações e refletem sobre sua efetividade e consequências.

Dessa forma, a pesquisa-ação em uma perspectiva crítico-colaborativa tem como propósito a formação crítico-reflexiva dos sujeitos envolvidos, de modo a conduzi-los a uma melhor compreensão das práticas que decorrem do processo de ensino e aprendizagem, para assim poder transformá-las.

A pesquisa-ação crítica considera a voz do sujeito, sua perspectiva, seu sentido, mas não apenas para registro e posterior interpretação do pesquisador: a voz do sujeito fará parte da tessitura da metodologia da investigação. Nesse caso, a metodologia não se faz por meio das etapas de um método, mas se organiza pelas situações relevantes que emergem do processo. Daí a ênfase no caráter formativo desta modalidade de pesquisa, pois o sujeito deve tomar consciência das transformações que vão ocorrendo em si próprio e no processo. É também por isto que tal metodologia assume o caráter emancipatório, pois mediante a participação consciente, os sujeitos da pesquisa passam a ter oportunidade de se libertar de mitos e preconceitos que organizam suas defesas à mudança e reorganizam a sua autoconcepção de sujeitos históricos (FRANCO, 2005, p. 486).

Nessa perspectiva, consideramos a pertinência do desenvolvimento da pesquisa apoiada em uma ação em colaboração com a professora, de modo a estabelecer uma prática educativa que favorecesse o aprendizado dos estudantes e também possibilitasse a reflexão e compreensão dos fatores que interferem nesse processo. Com tal abordagem metodológica inspirada na pesquisa-ação crítico-colaborativa, neste trabalho buscamos compreender como uma sequência didática, sobre Cosmologia no contexto da evolução do Universo, com enfoque no ensino por investigação pode contribuir para aprendizagem de estudantes do ensino médio.

3.1.2 APRESENTAÇÃO DA INSTITUIÇÃO DE ENSINO E CONTEXTO DA PESQUISA

A presente pesquisa foi desenvolvida a partir de uma intervenção educacional realizada em uma Escola Estadual de ensino médio, no município de Vitória, Espírito Santo, Brasil.

A escola possui uma estrutura robusta e ampla, com grande número de salas de aula, e um laboratório de Ciências em estruturação, atualmente em condições precárias aguardando liberação de recursos para execução do projeto de reforma e compra de material. A referida instituição de ensino atende um grande número de alunos em cada um dos três turnos de funcionamento, oriundos municípios pertencentes à Grande Vitória (Cariacica, Serra, Vila Velha e Vitória).

Apresentaremos também nesta seção a motivação para a escolha desta escola para realização do estudo, por considerar que para a real compreensão dos resultados decorrentes da investigação proposta é de total importância o conhecimento do ambiente e das circunstâncias em que a pesquisa foi desenvolvida e os dados produzidos.

A escolha da referida escola para o desenvolvimento da pesquisa se deu por ela apresentar diversos aspectos favoráveis aos objetivos estabelecidos. O principal critério utilizado para tal escolha está relacionado à disponibilidade da professora de Física em participar do estudo de forma colaborativa. Além disso, a professora já havia conduzido em sua sala de aula atividades dentro da perspectiva do Ensino por Investigação e também atuava em parceria como o curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) sendo colaboradora da disciplina de Estágio Supervisionado em Ensino.

Outro fator que favoreceu a escolha da escola foi o livro didático adotado pela instituição para triênio 2012-2014, o *Quanta Física* (Kantor *et al.*, 2010), que aborda em um dos capítulos do segundo volume o estudo da Cosmologia. Contudo, tal abordagem é feita de maneira superficial e meramente informativa, diferente da proposta da sequência didática e do material que apresentamos neste estudo, que se aprofunda nas discussões científicas dos tópicos relacionados aos Modelos Cosmológicos, à evolução térmica do Universo e das descobertas atuais,

entrelaçando os conceitos da FMC em seu contexto. Entretanto, mesmo apresentando uma perspectiva e condução distintas da que propomos em nossa pesquisa, a adoção deste livro foi favorável, pois não foi necessário alterar o planejamento anual do professor e da instituição de ensino para o desenvolvimento da pesquisa.

Desse modo, a intervenção foi realizada em cinco turmas da segunda série, pertencentes ao turno vespertino. A escolha do turno é justificada simplesmente pelo fato de ele abrigar um maior número de turmas dessa série e pela opção de desenvolver a pesquisa em um único turno.

3.1.3 CARACTERIZAÇÃO DOS SUJEITOS DA PESQUISA

Como já mencionado anteriormente de forma sucinta, a pesquisa foi desenvolvida a partir de uma intervenção educacional que envolveu os alunos de cinco turmas da segunda série do ensino médio matriculados no turno vespertino de uma escola estadual da região central da grande Vitória no ano de 2014.

A seleção das turmas nas quais a pesquisa foi realizada foi feita pela professora e por mim, respeitando o currículo e o livro didático adotados pela escola para a segunda série do ensino médio. Levando em consideração as diferentes características dos alunos de cada turno optamos por realizar o estudo em apenas um deles. O critério utilizado para a escolha do turno vespertino foi simplesmente por ele abrigar o maior número de turmas da segunda série. Dessa forma, a intervenção que sustenta a pesquisa foi realizada em cinco turmas da segunda série do turno vespertino. Em cada uma das turmas participantes, o número de alunos matriculados variava entre 25 e 30, totalizando um número de 134 estudantes que participaram das atividades desenvolvidas ao longo da pesquisa.

A professora de Física perceptivelmente tem perfil inovador e, por se preocupar verdadeiramente com o aprendizado de seus alunos, é exigente e busca frequentemente diversificar as atividades desenvolvidas nas aulas. Em sala de aula, tem um excelente relacionamento com estudantes, conduzindo as aulas de maneira divertida e responsável, agindo por meio do diálogo respeitoso, estabelecendo

limites, sem precisar impor sua autoridade. Licenciada em Física e mestra em Ensino de Física pela UFES, a professora tem experiência de dez anos de docência no ensino médio, atuando em escolas públicas e privadas, contudo há cinco deles é efetiva na rede estadual de ensino e atua nessa mesma instituição desde então. Desde o início de 2014, participa do projeto do Ministério da Educação, Programa Ensino Médio Inovador - ProEMI¹⁰, em que em conjunto com os professores da área de ciências naturais busca a reestruturação e a humanização do laboratório de ciências da escola.

A intervenção também contou com a participação de cinco alunos do curso de Licenciatura em Física da UFES, que cursavam a disciplina de Estágio Supervisionado, e estavam acompanhando as aulas sob tutoria da professora de Física. A colaboração dos mesmos foi relacionada à observação das aulas expositivo-dialogadas e ao apoio na organização das turmas no desenvolvimento de algumas atividades investigativas em sala de aula, entretanto não participaram como sujeitos da pesquisa.

3.2 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Segundo Zabala (1998, p.13), “um dos objetivos de qualquer bom profissional consiste em ser cada vez mais competente em seu ofício”. No que concerne às práticas educativas em sala de aula, a busca pelo aprimoramento e a constante reflexão é vivência cotidiana do professor da atualidade. Para o autor, nesse contexto, a prática docente deve observar pontos importantes, tais como o papel do professor e do aluno, a organização social da aula, a utilização dos espaços e do tempo, a maneira de organizar os conteúdos, o uso dos materiais curriculares e o sentido e papel da avaliação.

¹⁰ O Programa Ensino Médio Inovador – ProEMI foi instituído pelo Governo Federal por meio da Portaria nº 971, de 9 de outubro de 2009 como estratégia para indução à uma reformulação curricular. Tal programa tem o objetivo de apoiar e fortalecer o desenvolvimento de propostas curriculares inovadoras nas escolas de ensino médio, buscando garantir a formação integral com a inserção de atividades que tornem o currículo mais dinâmico, atendendo às expectativas dos estudantes e às demandas da sociedade contemporânea.

Dentro de tal observação, ao se falar de prática educativa e processo de ensino-aprendizagem, há de se considerar elementos que são tomados como seu alicerce, seja planejamento, exposição, debate, observação, exercícios, dentre outros. De acordo com Zabala (1998, p.18), uma sequência didática é o “conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos”, ou seja, ela engloba a organização, metodologia e desenvolvimento das atividades a serem desenvolvidas em todo processo educativo.

Assim, uma sequência didática possibilita a organização do processo de ensino, possibilitando ao professor a conjuntura necessária para refletir sobre os conteúdos e as formas de construção do conhecimento que pretende oportunizar aos alunos.

Nesse contexto, pensada dentro da perspectiva do ensino por investigação, uma sequência didática – ou sequência de ensino investigativa – deve ser estruturada de modo a proporcionar aos alunos “condições de trazer seus conhecimentos prévios para iniciar os novos, terem ideias próprias e poder discuti-las com seus colegas e com o professor passando do conhecimento espontâneo ao científico” (CARVALHO, 2013, p.09). Além disso, de acordo com Carvalho (2013), uma sequência de ensino investigativa deve possuir em sua organização algumas atividades-chave (atividades investigativas), que toma por base um problema contextualizado (seja experimental ou teórico) e que possibilita ao aluno o contato inicial com o tópico a ser estudado e fornece condições para que os alunos pensem e sistematizem seus conhecimentos, trabalhando com os conceitos científicos associados ao fenômeno relacionado na tarefa. Nessa proposta didática o papel do professor em mediar e sistematizar os conhecimentos construídos pelos alunos é essencial, durante a atividade e após a resolução do problema.

O problema não pode ser uma questão qualquer. Deve ser muito bem planejado [...] estar contido na cultura social dos alunos, isto é, não pode ser algo que os espantem, e sim provoque interesse de tal modo que se envolvam na procura por uma solução e essa busca deve permitir que os alunos exponham seus conhecimentos anteriormente adquiridos (espontâneos ou já estruturados) sobre o assunto (CARVALHO, 2013, p.11).

Em nosso estudo, buscamos compreender como tal organização didática, envolvendo tópicos da Cosmologia e conteúdos da FMC com enfoque no ensino por

investigação, pode contribuir para as aprendizagens¹¹ dos estudantes do ensino médio. A elaboração e o desenvolvimento da sequência didática denominada “A Evolução do Universo” podem ser classificadas em quatro momentos, de uma forma geral, como descreveremos a seguir.

O primeiro momento estabelecido está associado às concepções iniciais dos estudantes sobre o Universo. Em uma atividade de representação por meio de desenhos e textos, os alunos foram convidados a expressar suas ideias sobre o Universo, seguidos de um momento de socialização das concepções em grupo, com o intuito de dar início ao processo de construção de novos sentidos de forma coletiva. Os pormenores dessa atividade serão apresentados na próxima seção deste capítulo.

O segundo momento da sequência didática está relacionado às aulas expositivo-dialogadas para abordagem da história da Evolução do Universo, com uso de material multimídia apresentado em *slides* e vídeos. No decurso das aulas, os alunos eram estimulados a expor suas dúvidas e opiniões e assim faziam intervenções relacionadas aos conhecimentos cotidianos, que aos poucos eram negociados e entram em processo de evolução mediante os conceitos científicos expostos nas aulas. Nesse momento crucial, a mediação entre esses conhecimentos era estabelecida pela professora com minha colaboração, dando dinamicidade às aulas.

O que classificamos como terceiro momento do desenvolvimento da sequência didática diz respeito às atividades investigativas elaboradas dentro da perspectiva de ensino adotada, o Ensino por Investigação. Esse momento foi estruturado por três atividades investigativas, que, de acordo com proposto por Azevedo (2004), são classificadas como “Laboratório Aberto, Problema Aberto e Questão Aberta”. Tais atividades envolveram tanto a aprendizagem de conceitos da Cosmologia e da FMC, quanto a aprendizagem de procedimentos e atitudes.

¹¹ Nos referimos ao termo aprendizagem no plural, pois nos referimos as três tipologias de conteúdos de aprendizagem: conceitual, procedimental e atitudinal.

O quarto momento da sequência diz respeito ao processo de avaliação do aprendizado dos estudantes, quando eles em um processo de metacognição¹² analisaram e avaliaram suas representações iniciais do Universo e puderam mais uma vez apresentar suas ideias sobre a constituição do Universo do qual fazem parte, porém, agora com os novos sentidos construídos pelo contato com os conhecimentos científicos discutidos em sala de aula.

Ainda nesse momento, continuando o processo de avaliação, os alunos responderam a um questionário de opinião, expondo suas considerações sobre a sequência de atividades desenvolvidas sobre o tema e a perspectiva de ensino adotada. Além disso, responderam a um questionário conceitual para expressarem o aprendizado de conceitos científicos, contudo esse não será utilizado na análise dos dados produzidos para a pesquisa.

A sequência didática foi desenvolvida durante o período de nove semanas, devido aos contratempos¹³ comuns ao ambiente escolar, que em alguns momentos inviabilizaram seu desenvolvimento. Entretanto, a sequência didática teve a estrutura organizacional e quantitativo de aulas conforme descrição apresentada no quadro 01:

QUADRO 01 - Síntese da estrutura da sequência didática “Evolução do Universo” desenvolvida durante a pesquisa. * Cada aula teve a duração de 55 minutos.

(continua)

ATIVIDADE	Extensão (nº aulas) *
Atividade de concepções iniciais sobre o Universo e socialização em grupo	2 aulas
Aula expositivo-dialogada: “A cosmologia e o Universo que observamos”	1 aula
Aula expositivo-dialogada: “O Universo em expansão”	1 aula

¹² Etimologicamente, a palavra metacognição significa para além da cognição, isto é, a faculdade de conhecer o próprio ato de conhecer, ou, por outras palavras, consciencializar, analisar e avaliar como se conhece (RIBEIRO,2003).

¹³ Contratemplos estes associados à inviabilidade de desenvolvimento das aulas, relacionados à falta da professora por motivos de saúde, falta coletiva dos alunos por motivo de mal tempo e indisponibilidade de transporte e a organização escolar de visitas técnicas de outras disciplinas.

QUADRO 01 - Síntese da estrutura da sequência didática “Evolução do Universo” desenvolvida durante a pesquisa. * Cada aula teve a duração de 55 minutos.

(conclusão)

ATIVIDADE	Extensão (no aulas) *
Atividade Investigativa de Laboratório Aberto: O Universo Balão	2 aulas
Atividade Investigativa de Problema Aberto: <i>Redshift</i>	2 aulas
Palestra: “A Constituição e o Futuro do Universo”	2 aulas
Aula expositiva e dialogada: “A Origem e criação de tudo”	1 aula
Atividade Investigativa de Questão Aberta: <i>Big Bang</i>	1 aula
Devolutiva das atividades de concepções iniciais para que os alunos façam uma autoavaliação	1 aula
Aplicação de questionário conceitual	1 aula
Aplicação do questionário de Opinião	1 aula

No decorrer da intervenção, a sequência didática assumiu o papel principal na produção dos dados que sustentarão a análise para a presente pesquisa, conforme apresentaremos a seguir.

3.3 A PRODUÇÃO DE DADOS

Considerando os objetivos da presente pesquisa, os momentos estabelecidos e as atividades desenvolvidas na sequência didática possibilitaram a produção de dados para o estudo acerca das diferentes formas de conhecimento envolvidas no processo de ensino e aprendizagem, tanto pelos alunos quanto pela professora.

Dessa forma, apresentaremos a seguir os instrumentos e atividades que viabilizaram a produção dos dados que serão considerados nas discussões da pesquisa.

3.3.1 A Atividade de Concepções sobre o Universo

No contexto de uma sala de aula, é imprescindível a consideração da heterogeneidade dos sujeitos, as múltiplas culturas e os distintos tipos de conhecimentos que eles possuem ao se determinar uma metodologia, uma perspectiva ou uma estratégia para a condução no processo ensino-aprendizagem. Tal diversidade também carrega consigo diferentes dificuldades que por muitas vezes não são expressas e conseqüentemente não são sanadas ao se esbarrar no formalismo de uma linguagem escrita ou falada.

Uma forma alternativa adotada por diversos professores e pesquisadores para condução do estudante à expressão de suas concepções é o desenho, por sua abrangência e liberdade de se proliferar sem que haja limite em sua ocorrência. Isso se contrapõe à língua, que é limitada à disponibilidade de elementos para compor os atos linguísticos, de modo que a repetição dos sons inevitavelmente ocorrerá. O desenho por sua vez constitui um significativo conjunto de elementos de comunicação visual, de modo que, ao estruturar suas concepções por meio de um desenho, o aluno transfere para o papel as representações de suas experiências cotidianas, escolares, culturais e sociais (NEIVA Jr, 1994).

Nesse sentido, a atividade denominada “Seu Universo” (Apêndice C.a) constituiu o primeiro momento da sequência didática desenvolvida na intervenção. Por meio dela objetivamos estabelecer o contato inicial dos alunos com o tema central, “A Evolução do Universo”, de modo que os mesmos se reconhecessem ao estabelecer suas ideias iniciais a partir de representações sob a forma de desenhos e breves textos.

De acordo com os PCNEM,

O conhecimento prévio dos alunos [...] é particularmente relevante para o aprendizado científico e matemático. Os alunos chegam à escola já trazendo conceitos próprios para as coisas que observam e modelos elaborados autonomamente para explicar sua realidade vivida, inclusive para os fatos de interesse científico. É importante levar em conta tais conhecimentos, no processo pedagógico, porque o efetivo diálogo pedagógico só se verifica quando há uma confrontação verdadeira de visões e opiniões; o aprendizado da ciência é um processo de transição da visão intuitiva, de senso comum ou de auto-elaboração, pela visão de

caráter científico construída pelo aluno, como produto do embate de visões.
(BRASIL, 1998, p.52)

Por julgar de essencial relevância a consideração das concepções prévias dos alunos no processo da ensejada evolução de seus conhecimentos dentro do contexto científico escolar, as informações acerca do conhecimento prévio dos estudantes sobre o Universo, sua estrutura e sua evolução – objetos de estudo da Cosmologia – foram registradas e consideradas no desenvolvimento da sequência didática.

Ao final da intervenção e consolidado o desenvolvimento de toda sequência didática proposta, a atividade “Seu Universo” foi devolvida aos estudantes para que eles fizessem uma avaliação de sua representação inicial. Por meio de tal avaliação, os alunos deveriam refletir sobre os conceitos científicos estudados e, em um processo de metacognição, avaliar seu conhecimento afirmando se manteriam a representação feita inicialmente ou se mudariam algo, justificando suas escolhas.

Segundo Ribeiro (2003, p.110), “A metacognição diz respeito, entre outras coisas, ao conhecimento do próprio conhecimento, à avaliação, à regulação e à organização dos próprios processos cognitivos”. Para a autora,

a eficácia da aprendizagem não é dependente apenas da idade, experiência e nível intelectual, mas também da aquisição de estratégias cognitivas e metacognitivas que possibilitem ao aluno planejar e monitorar o seu desempenho escolar; isto é, que permitam a tomada de consciência dos processos que utiliza para aprender e a tomada de decisões apropriadas sobre que estratégias utilizar em cada tarefa e, ainda, avaliar a sua eficácia, alterando-as quando não produzem os resultados desejados (RIBEIRO, 2003, p. 115).

Dessa forma, buscamos com tal estratégia levantar as concepções dos estudantes sobre o Universo antes e após a intervenção, com o objetivo de investigar indícios da apropriação de novos sentidos na busca de evidências de evolução no conhecimento dos estudantes, no que tange os conceitos científicos, do ponto de vista escolar.

3.3.2 AS ATIVIDADES INVESTIGATIVAS

Em diversos trabalhos de pesquisa em ensino de ciências são apresentadas evidências de que os estudantes desenvolvem melhor seus conhecimentos quando participam de investigações científicas semelhantes às feitas em laboratórios de pesquisa, porém se conciliadas ao contexto escolar. Tais investigações podem estar associadas tanto a atividades práticas que exijam manipulação de experimentos, quanto a um simples problema a ser resolvido com lápis e papel (AZEVEDO, 2004).

Ao buscar a resolução para uma situação-problema em uma atividade de cunho investigativo, o estudante se torna ativo na construção de seu conhecimento por meio da interação entre pensar, sentir e fazer.

É preciso que sejam realizadas diferentes atividades, que devem estar acompanhadas de situações problematizadoras, questionadoras e de diálogo, envolvendo a resolução de problemas e levando à introdução de conceitos para que os alunos possam construir seu conhecimento (AZEVEDO, 2004, p.20).

Para Azevedo (2004, p.20), o objetivo é “levar o aluno a pensar, debater, justificar suas ideias e aplicar seus conhecimentos em novas situações”, e não se limitar apenas ao trabalho de manipulação ou observação. A autora salienta que, para uma atividade ser considerada investigativa, ela deve conter elementos que conduzam o aprendiz a refletir, discutir, explicar e relatar, desenvolvendo o aprendizado de procedimentos e atitudes característicos de uma investigação científica.

Assim, por considerar que o processo de construção do conhecimento tem igual valor ao resultado final, quando tomamos o contexto e a aquisição de distintos valores, acreditamos que, com o uso de atividades investigativas, seja possível envolver de forma participativa o aluno em seu processo de aprendizagem, de modo a proporcionar o aprendizado de diferentes conteúdos, favorecendo a construção de seu conhecimento conceitual, atitudinal e procedimental.

Com o objetivo de avaliar a aprendizagem de conceitos, procedimentos e atitudes dos estudantes, três atividades investigativas envolvendo conteúdos da Cosmologia e da FMC foram concebidas ao longo da sequência didática. Suas estruturas foram

estabelecidas de forma conjunta por mim e pela professora regente das turmas, observando-se as especificidades da realidade escolar pesquisada.

Dentre as diferentes abordagens de atividades investigativas encontradas na literatura, optamos por assumir alguns dos tipos apresentados por Azevedo (2004), considerando a utilização de um experimento, interpretação de textos, organização de conceitos e também a utilização de um ferramental matemático. Dessa forma, as três atividades investigativas propostas na sequência didática para a intervenção são classificadas como:

Laboratório Aberto: esse tipo de atividade investigativa se inicia com a proposição de um problema e busca a solução para tal questão, que será respondida pelos estudantes através da manipulação de materiais como em um experimento de laboratório. De acordo com Azevedo (2004) na busca pela solução do problema o estudante deve inicialmente estabelecer o objetivo principal e proceder com o levantamento de hipóteses. Em seguida, deve-se organizar um plano de investigação para estabelecer primariamente como a experiência será realizada, desde a organização do material necessário e montagem até a coleta dos dados necessários para teste das hipóteses levantadas. Feito isso, os alunos avançam à etapa prática da atividade e manipulam o material para a coleta de dados. De posse dos dados, em grupo os alunos devem analisá-los de modo a encontrar respostas para a solução do problema inicial, comprovando ou refutando as hipóteses lançadas em princípio, formalizando por fim a redação da conclusão do experimento com a resposta ao problema (AZEVEDO, 2004).

Questão Aberta: caracteriza-se por uma atividade que exige a interpretação de textos e organização dos conceitos já discutidos em sala de aula para solução do problema proposto inicialmente. Para solucionar uma Questão Aberta os alunos devem estabelecer os objetivos e proceder ao levantamento de hipóteses, em seguida debater e organizar as informações, aplicar os conceitos científicos para compreensão do fenômeno envolvido e de forma argumentativa redigir um texto dissertativo como resposta ao problema na conclusão da atividade (AZEVEDO, 2004).

Problema Aberto: esse tipo de atividade não se constitui por um simples problema com características de um exercício de fixação. Segundo Azevedo (2004) ele se inicia com a proposição de uma situação problema e de maneira análoga à resolução de uma Questão Aberta – que envolve somente conceitos – os alunos devem desenvolver as etapas iniciais que são qualitativas, estabelecendo os objetivos e hipóteses, conduzindo um debate para argumentação e organização das informações na busca pela solução do problema. A etapa seguinte, caracterizada pela apresentação dos resultados obtidos e redação da solução do problema, é quantitativa e deve ser sustentada pela utilização por um ferramental matemático associado (AZEVEDO, 2004).

Em todas as atividades, buscamos seguir as etapas para realização sugeridas por Azevedo (2004), tendo em conta todos os momentos estruturantes de uma atividade investigativa. Tal estruturação é feita estabelecendo como primeiro passo a apresentação do problema, feita preferencialmente sob a forma de “pergunta que estimule a curiosidade científica do estudante” (AZEVEDO, 2004, p.28), seguida do levantamento das hipóteses (que devem ser estruturadas por meio de discussões entre os alunos de cada grupo, com a mediação do professor, se necessário). O próximo passo se estabelece pela busca por informações, seja através da coleta de dados em um experimento ou por pesquisa em textos, conduzindo a análise, interpretação e explicação para a estruturação de respostas ao problema proposto inicialmente. Dessa forma, os problemas foram pensados elaborados por mim e pela professora de forma cuidadosa, de modo a apresentar com clareza o tema na questão inicial, buscando possibilitar a reflexão e o envolvimento dos estudantes com o assunto envolvido em cada uma das três atividades desenvolvidas.

Ao falar do ensino por investigação, Munford e Lima (2007) chamam atenção para a necessidade de se “promover um ensino mais interativo, dialógico e baseado em atividades capazes de persuadir os alunos a admitirem as explicações científicas para além dos discursos autoritários, prescritivos e dogmáticos” (MUNFORD; LIMA, 2007, p.22), e nesse sentido consideramos importante salientar que, nessa perspectiva de ensino é essencial a valorização das respostas apresentadas pelos estudantes, uma vez que, por meio delas é possível a condução de diálogos, debates e reflexões em torno de possíveis erros, para que novos sentidos e

significados sejam atribuídos e o conhecimento seja construído na busca pela solução do problema.

Um dos questionamentos que ressona e é comum ao se falar de ensino por investigação está relacionado à estrutura das atividades propostas e aos graus de abertura dos problemas propostos. Segundo Munford e Lima (2007), nem todas as situações e atividades possibilitam a exploração de um nível máximo de abertura em sua proposição e, entretanto, não é por este motivo que elas deixariam de ser caracterizadas dentro do ensino por investigação.

Ao falar de grau de abertura para uma situação-problema em uma atividade investigativa nos referimos, em concordância com Borges (2002) e Carvalho (2011), ao nível de informações fornecidas inicialmente na atividade investigativa e o grau de liberdade proporcionado ao aluno. Borges (2002), de acordo como a figura 01 a seguir, apresenta quatro níveis de investigação para uma atividade investigativa:

FIGURA 01 - Níveis de investigação no laboratório de ciências

Nível de Investigação	Problemas	Procedimentos	Conclusões
Nível 0	Dados	Dados	Dados
Nível 1	Dados	Dados	Em aberto
Nível 2	Dados	Em aberto	Em aberto
Nível 3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Fonte: BORGES(2002, p. 306)

De acordo com o autor, o nível 0 se caracteriza por uma situação semelhante a um problema fechado, onde o problema, os procedimentos e o que se deseja verificar são dados, cabendo aos alunos apenas coletar as informações com base no roteiro para confirmar – ou não – as conclusões. No nível 1 o problema e os procedimentos são dados inicialmente por meio de um roteiro, ficando os estudantes encarregados de coletar os dados previamente indicados e redigir as conclusões. O nível 2 corresponde a uma atividade na qual somente o problema é fornecido, este nível pode ser considerado dentre os demais apresentados o primeiro em que os

estudantes assumem a responsabilidade pela construção das etapas que conduzirão a investigação, neste eles decidem os procedimentos a serem desenvolvidos, como quais dados coletar, como efetuar as medições, e que conclusões podem ser alcançadas a partir deles. O nível 3 é o de maior grau de abertura, nele os estudantes são responsáveis por todas as etapas da investigação, desde a escolha e formulação do problema até as conclusões, ficando a cargo do professor apenas a proposição do tema e mediação do processo investigativo (BORGES, 2002).

De maneira que consideramos análoga à apresentada por Borges (2002), Carvalho (2011) traz uma classificação para os níveis de liberdade intelectual proporcionados aos alunos (A) por meio do nível de abertura estabelecido pelo professor (P) nas atividades de cunho investigativo. A autora apresenta, de acordo com a figura 02 abaixo, cinco graus de liberdade associados também ao nível de informações e abertura das atividades investigativas.

FIGURA 02 - Graus de liberdade do professor/aluno em aulas de laboratório

	GRAU I	GRAU II	GRAU III	GRAU IV	GRAU V
Problema	P	P	P	P	A
Hipóteses	P	P	P	A	A
Plano de Trabalho	P	P	A	A	A
Obtenção de dados	A	A	A	A	A
Conclusões	P	A	A	A	A

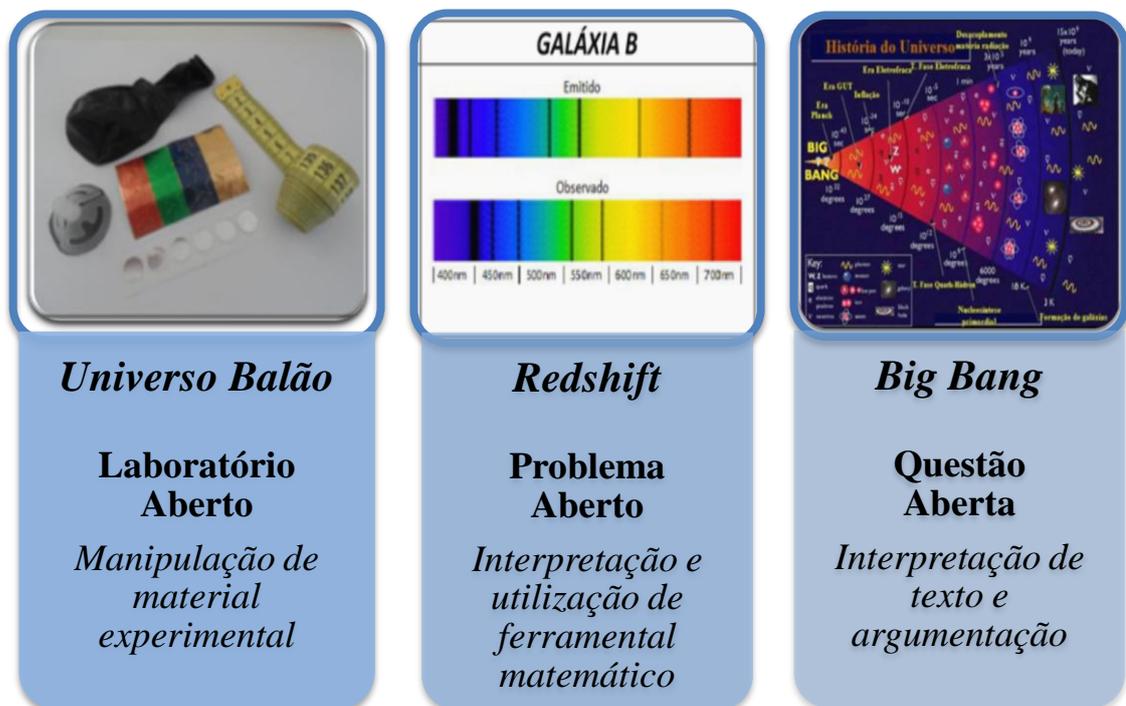
Fonte: CARVALHO (2011, p.55)

No grau I de liberdade, o problema, as hipóteses, o plano de trabalho e as próprias conclusões são propostos na atividade pelo professor (P), tendo os alunos (A) apenas a liberdade intelectual de obter os dados previamente indicados. No grau II de liberdade, os aprendizes tem liberdade para coletar os próprios dados e redigir suas conclusões a partir deles, nessa atividade se inicia um nível de abertura. O grau III de liberdade é caracterizado por proporcionar aos estudantes a possibilidade de elaborar o plano de trabalho que conduzirá as etapas da investigação para

obtenção das informações que encaminharão às conclusões. No grau IV de liberdade, os alunos só recebem o problema proposto pelo professor, sendo encarregados de todo trabalho intelectual e procedimental no processo de investigação da tarefa. Já no grau V de liberdade, os estudantes são responsáveis por todo o processo, inclusive a proposição do problema a ser investigado.

Nessa perspectiva, as atividades investigativas desenvolvidas na intervenção desta pesquisa foram construídas e conduzidas de acordo com as perspectivas de Azevedo (2004), Borges (2002) e Carvalho (2011), com distintas características – como apresentadas anteriormente – e com graus de abertura e de liberdade que podem ser classificados dentro do *nível 2* de Borges (2002) e do *grau IV* de Carvalho (2011). A realização das atividades investigativas (figura 03) se deu de forma coletiva, com a divisão dos alunos de cada turma em cinco grupos, constituídos por cinco ou seis integrantes cada. Apenas em uma turma, que, devido à quantidade inferior de alunos matriculados, teve os alunos divididos em apenas quatro grupos para manter o número de integrantes por grupo equivalente ao das outras turmas.

FIGURA 03 - Atividades investigativas estruturadas segundo as proposições de Azevedo (2004) e Carvalho (2004)



A primeira atividade investigativa, denominada Universo Balão (Apêndice C.b), foi desenvolvida após as aulas teóricas “expositivo-dialogadas” intituladas “A Cosmologia e o Universo que Observamos” e “O Universo em Expansão”, e teve as características de um Laboratório Aberto. Nela, foi apresentado aos estudantes um problema referente à representação da expansão do Universo, e eles deveriam, em grupos, elaborar um plano de investigação estabelecendo primariamente os objetivos e as hipóteses para solucioná-lo. Feito isso, em uma aula subsequente, foram fornecidos aos alunos os materiais para execução do experimento de acordo com o plano elaborado previamente. A partir das observações eles deveriam buscar evidências para verificar as hipóteses levantadas inicialmente e estabelecer uma discussão para a conclusão da atividade, solucionando o problema.

Na sequência, os alunos realizaram a atividade investigativa *Redshift* (Apêndice C.c), que consistiu em um Problema Aberto estruturado em duas questões, também relacionado à expansão do Universo. A primeira questão associava conceitos de espectroscopia e o desvio para o vermelho das linhas espectrais (*Redshift*), problematizando o estudo da expansão do Universo. A segunda questão exigia a interpretação dos conceitos e também o uso do ferramental matemático associado, para o entendimento da proporcionalidade existente entre a velocidade de afastamento das galáxias e a distância existente entre elas, correlacionando a Lei de Hubble para a expansão do Universo, a partir do estabelecimento dos *Redshifts* relacionados aos comprimentos de onda fornecidos. Em ambas, os alunos deveriam analisar o problema calmamente, debater entre os integrantes do grupo e registrar as hipóteses, argumentos e possíveis soluções construídas.

A terceira atividade investigativa se constitui por uma Questão Aberta intitulada *Big Bang* (Apêndice C.d), que foi apresentada aos alunos na aulas subsequentes à aula expositivo-dialogada “A Origem e criação de tudo”. Nela, um texto contendo algumas informações acerca dos primórdios do Universo e sua evolução foi fornecido inicialmente aos alunos e, em seguida, o problema foi apresentado. Com base no texto e nas aulas ministradas ao longo da intervenção, os estudantes deveriam refletir e debater com o grupo, estabelecendo as possíveis estratégias para explicar a origem do Universo e os processos de formação de tudo que existe no *Cosmos*, tomando como base o modelo cosmológico do *Big Bang*.

3.3.3 O QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO

Com base no objetivo geral da pesquisa, que é compreender como uma sequência didática com enfoque no ensino por investigação contribui para a aprendizagem de estudantes do ensino médio de conteúdos de FMC e de tópicos de Cosmologia, julgamos que, para consolidar tal compreensão, a visão/opinião do estudante sobre os elementos constituintes do processo de ensino no qual está envolvido é de suma importância, principalmente quando se assume elementos metacognitivos no processo de ensino e aprendizagem.

Buscamos, então, conhecer a opinião dos estudantes sobre as aulas e atividades desenvolvidas, orientadas pela sequência didática dentro da perspectiva do ensino por investigação, por meio de um questionário de opinião (Apêndice D) organizado por questões fechadas e uma Questão Aberta.

De acordo com Ribeiro (2003, p.110),

[...] o conhecimento que o aluno possui sobre o que sabe e o que desconhece acerca do seu conhecimento e dos seus processos, parece ser fundamental, por um lado, para o entendimento da utilização de estratégias de estudo pois, presume-se que tal conhecimento auxilia o sujeito a decidir quando e que estratégias utilizar e, por outro, ou conseqüentemente, para a melhoria do desempenho escolar.

Por meio das questões pretendemos ter acesso à forma como os estudantes se percebem ativos em seu processo de aprendizagem e como estabelecem uma reflexão consciente dos próprios processos cognitivos mediante o contato direto com essa nova perspectiva de ensino e com os conceitos de Cosmologia, proporcionados pela intervenção desta pesquisa. Ao avaliar o processo de construção e o próprio conhecimento construído o estudante toma consciência dos sentidos estabelecidos ao longo do processo.

Segundo Gil (2008, p.121), um questionário pode ser definido como,

[...] a técnica de investigação composta por um conjunto de questões que são submetidas a pessoas com o propósito de obter informações sobre conhecimentos, crenças, sentimentos, valores, interesses, expectativas, aspirações, temores, comportamento presente ou passado, etc.

Assim, o questionário (Apêndice D) foi estruturado por doze questões com o objetivo de conhecer a opinião dos estudantes no que diz respeito a: organização e apresentação dos conteúdos de Cosmologia nas aulas; metodologia de abordagem dos conteúdos dentro da perspectiva do ensino por investigação; organização, envolvimento e interesse nas atividades investigativas; e também aprendizado e sentimentos mediante os conteúdos abordados pela sequência didática.

A aplicação do questionário foi efetuada ao final da intervenção, na última aula da sequência didática, para que cada aluno tivesse a possibilidade de avaliar todos os momentos vivenciados em sala de aula e, assim, de forma anônima, expor sinceramente sua opinião.

3.3.4 DÁRIO DE CAMPO

Ao longo do desenvolvimento da sequência didática, foi produzido um diário de campo por mim com o intuito de registrar cronologicamente os momentos da intervenção, de forma a acompanhar o desenvolvimento das aulas e das atividades desenvolvidas para fazer alterações na estrutura da sequência, se necessárias fossem, e compor o universo de dados para compreensão de todo o processo de ensino-aprendizagem realizado.

Para Oliveira (2014, p.69), o diário de campo constitui um “dispositivo de registro das temporalidades cotidianas vivenciadas na pesquisa” e potencializa a compreensão dos “movimentos da/na pesquisa e das diversas culturas inscritas no cotidiano da comunidade e da escola estudada” (OLIVEIRA, 2014, p.69).

Tomando o caráter qualitativo que envolve a presente pesquisa e a subjetividade da pesquisa no ambiente escolar, o diário de campo configura-se como um elemento essencial ao pesquisador, pois possibilita o registro das observações dos eventos que não são registrados nos meios comuns de pesquisa. Para Macedo (2010):

Além de ser utilizado como instrumento reflexivo para o pesquisador, o gênero diário é, em geral, utilizado como forma de conhecer o vivido dos atores pesquisados, quando a problemática da pesquisa aponta para a apreensão dos significados que os atores sociais dão à situação vivida. O diário é um dispositivo na investigação, pelo seu caráter subjetivo, intimista (MACEDO, 2010, *apud* OLIVEIRA, 2014, p.74).

Dessa maneira, o diário de campo se constituiu pelo registro de informações por meio das minhas observações, que subsidiarão as análises em torno da postura e das emoções vivenciadas pelos estudantes durante a realização das atividades da sequência. A partir dele, também será possível o estabelecimento de parâmetros para a avaliação de atitudes e procedimentos dos alunos durante a resolução dos problemas propostos, que dificilmente são expressos nos planos de investigação por meio da escrita.

3.4 A ANÁLISE DOS DADOS

As pesquisas em educação têm sido marcadas fortemente pelos estudos que valorizam a utilização de métodos qualitativos, dadas as distintas variáveis a serem consideradas quando se investiga o ambiente escolar e seus constituintes. Tomando por base que o objetivo principal de uma pesquisa qualitativa está associado a interpretação e compreensão do fenômeno observado, a análise dos dados produzidos na intervenção foi feita tomando a partir das características da análise qualitativa. Segundo Gil (2002, p.133),

A análise qualitativa depende de muitos fatores, tais como a natureza dos dados coletados, a extensão da amostra, os instrumentos de pesquisa e os pressupostos teóricos que nortearam a investigação. Pode-se, no entanto, definir esse processo como uma sequência de atividades, que envolve a redução dos dados, a categorização desses dados, sua interpretação e a redação do relatório.

O autor ainda acrescenta que, “nas pesquisas qualitativas, o conjunto inicial de categorias em geral é reexaminado e modificado sucessivamente, com vista em obter ideais mais abrangentes e significativos” (GIL, 2002, p. 134).

Ao se falar de análise qualitativa, faz-se verdadeiramente necessário o estabelecimento direto da relação entre a leitura e seu significado¹⁴, uma vez que ela

¹⁴ Considerando todas as especificidades do discurso constituído, seja ele em qualquer expressão linguística.

“opera com significados construídos a partir de um conjunto de textos” (MORAES, 2003, p.192).

Todo texto possibilita uma multiplicidade de leituras, leituras essas tanto em função das intenções dos autores como dos referenciais teóricos dos leitores e dos campos semânticos em que se inserem. [...] Os materiais textuais constituem significantes a que o analista precisa atribuir sentidos e significados (MORAES, 2003, p.192).

Para Moraes (2003), uma análise textual realiza-se com base em um conjunto de produções textuais¹⁵ que expressam o discurso sobre um fenômeno observado, possibilitando a leitura e interpretação dos sentidos e significados construídos, estabelecendo o objetivo principal da análise.

Em uma análise textual qualitativa:

Os textos não carregam um significado a ser apenas identificado; são significantes exigindo que o leitor ou pesquisador construa significados com base em suas teorias e pontos de vista. Isso exige que o pesquisador em seu trabalho se assuma como autor das interpretações que constrói dos textos que analisa. Naturalmente nesse exercício hermenêutico de interpretação é preciso ter sempre em mente o outro polo, o autor do texto original. (MORAES, 2003, p.194).

Nesse sentido, a análise das atividades desenvolvidas na sequência didática durante a intervenção foi feita por meio da utilização da “Análise Textual Discursiva”, uma metodologia mais flexível e voltada para pesquisas com abordagem qualitativa, caracterizada pela necessidade de sucessivas leituras e um minucioso contato com o material produzido na pesquisa.

Segundo Moraes (2003, p.209), a Análise Textual Discursiva constitui um processo “auto-organizado de construção de compreensão em que novos entendimentos emergem de uma sequência recursiva de três componentes” que compõe um ciclo de análise:

1. Desmontagem dos textos: também denominado de processo de unitarização, implica examinar os materiais em seus detalhes, fragmentando-os no sentido de atingir unidades constituintes, enunciados referentes aos fenômenos estudados.

2. Estabelecimento de relações: processo denominado de categorização, implicando construir relações entre as unidades de base, combinando-as e

¹⁵ A referência feita às produções textuais é feita em seu sentido mais amplo, no sentido de representações escritas, incluído desenhos, imagens e outras expressões linguísticas.

classificando-as no sentido de compreender como esses elementos unitários podem ser reunidos na formação de conjuntos mais complexos, as categorias.

3. Captando o novo emergente: a intensa impregnação nos materiais da análise desencadeada pelos dois estágios anteriores possibilita a emergência de uma compreensão renovada do todo. O investimento na comunicação dessa nova compreensão, assim como de sua crítica e validação, constituem o último elemento do ciclo de análise proposto. O metatexto resultante desse processo representa um esforço em explicitar a compreensão que se apresenta como produto de uma nova combinação dos elementos construídos ao longo dos passos anteriores. (MORAES, 2003, p. 191)

Os pressupostos dessa análise foram utilizados na presente pesquisa, na busca da efetiva compreensão dos reais significados estabelecidos e do reconhecimento das diversas representações subjetivamente construídas, além das explicitadas nos relatos escritos pelos sujeitos.

Assim, a partir dos textos elaborados pelos alunos nas atividades investigativas e de concepções do Universo, do questionário de opinião e dos registros efetuados por mim por meio do diário de campo e de gravações de áudio/vídeo durante as aulas, foi possível o estabelecimento de critérios e indicadores para a investigação de concepções, conceitos, argumentos, procedimentos e atitudes observados ao longo do processo. Para cada atividade, no contexto da análise textual discursiva, foram estabelecidas categorias que possibilitassem melhor compreensão. Elas serão descritas nas próximas seções.

3.4.1 A ANÁLISE DA ATIVIDADE DE CONCEPÇÕES SOBRE O UNIVERSO

Conforme apresentado na subseção 3.3.1 deste capítulo, a atividade de concepções do Universo possibilitou a produção de dados acerca das ideias dos estudantes sobre o Universo antes e após a intervenção. Com tais informações, a análise se seguiu no intuito de investigar indícios de uma possível evolução no conhecimento dos estudantes acerca do tema, no que tange à dimensão conceitual.

De acordo com as concepções de Vygotsky (1987; 2001) acerca da aquisição de conceitos científicos pelo aprendiz, já apresentadas em nosso referencial teórico, como processo de desenvolvimento mútuo aos conceitos cotidianos, consideramos

que a apropriação de uma nova forma de expressão (ou mesmo a mudança no discurso ou a melhor elaboração dele) ocorre devido a incorporação de novos significados como resultado das interações decorrentes do processo educativo. Tal fato potencialmente remete à possibilidade de que os conhecimentos sejam conduzidos a níveis mais abstratos, evoluindo em significado.

Para Vygotsky (1987), a aprendizagem conduz o estudante a um processo de reestruturação conceitual que se dá a partir da influência recíproca entre os conhecimentos espontâneos (cotidianos) e científicos, conferindo um importante papel aos processos de ensino na consolidação dos conceitos científicos ao afirmar que a “consciência reflexiva” chega à criança através deles.

Além disso, Vygotsky nos diz que todo conceito é uma generalização e implica a possibilidade de situar um dado conceito (co-subordinado) num sistema estruturante de conceitos mais amplo, o qual envolve relação com outros conceitos, sendo alguns de um maior grau de generalidade.

Ser significado é o mesmo que estar em determinadas relações de generalidade com outros significados, isto é, significa uma medida específica de generalidade. Deste modo, a natureza do conceito – sincrética, complexa, pré-conceitual – se revela de forma mais completa nas relações específicas de dado conceito com outros conceitos (VYGOTSKY, 2001, p.368).

Assim, para Vygotsky (2001), a generalização no processo de formação do conceito sistematiza a construção de seu significado e orienta o estabelecimento de sentidos pelos alunos. E em uma analogia entre a formação de conceitos e o estabelecimento de sentidos e significados, Vygotsky (2001, p.465), nos diz que,

[...] o sentido é sempre uma formação dinâmica, fluida, complexa, que tem várias zonas de estabilidade variada. O significado é apenas uma dessas zonas do sentido que a palavra adquire no contexto de algum discurso e, ademais, uma zona mais estável, uniforme e exata. Como se sabe, em contextos diferentes a palavra muda facilmente de sentido. O significado, ao contrário, é um ponto imóvel e imutável que permanece estável em todas as mudanças de sentido da palavra em diferentes contextos.

Nessa perspectiva, a análise da atividade baseou-se na busca de evidências da existência da associação consciente, ao longo da intervenção, dos conceitos cotidianos já estabelecidos aos conceitos científicos discutidos em sala de aula, com o intuito de compreender o processo de apropriação de novos significados pelos

estudantes de acordo com os níveis de generalização dos conceitos relacionados à Cosmologia, por meio da compreensão do conceito de Universo apresentados nas representações textuais.

A partir das representações feitas pelos alunos, sob a forma de desenhos e textos, foram estabelecidas categorias de classificação, dentro das discrepâncias dos elementos apresentados e dos níveis de generalização constituídos, tomando como base o conceito de Universo real e sua estrutura. A figura 04 apresenta de forma esquemática a relação entre os níveis de generalização para a construção do conceito de Universo, em analogia aos apresentados por Trazzi (2015), dentro de uma estrutura de conceitos que parte de níveis mais baixos de generalização para níveis mais altos de generalização.

FIGURA 04 - Representação esquemática da estrutura sistemática da organização de conceitos co-subordinados na constituição do conceito Universo, dito superior



Em nossa análise tomamos como *Desenho Primitivo* as representações apresentadas pelos estudantes com *Nível Baixo de Generalização* do conceito de Universo, por apresentarem de maneira limitada – ou não articulada – a estrutura de conceitos relacionados à magnitude do Universo. Nessa categoria, foram classificadas as respostas apresentadas que se restringiam à alguns conceitos co-subordinados de baixo nível de generalidade, como planetas, cometas, sol, apresentando uma visão restrita ao nosso sistema planetário, desarticulada – e

equivocada por vezes - do conceito superior Universo, tomado com nível alto de generalidade.

Foram consideradas como *Desenho Intermediário* as representações apresentadas pelos alunos com *Nível Intermediário de Generalização* do conceito dito superior Universo, com alto nível de generalidade. Nessa categoria se enquadraram as representações que de forma parcial articulavam além de conceitos associados ao nosso sistema planetário – sol, planetas, satélites, meteoros – também faziam referência – mesmo que de maneira desorganizada – à existência de galáxias, buracos negros e radiação na constituição do conceito Universo.

Já as representações classificadas como *Desenho Elaborado* foram assim categorizadas por apresentar evidências do entendimento da magnitude do Universo, apresentando indícios de um nível alto de generalização dos conceitos, expondo de forma articulada a disposição dos elementos de maior escala predominantes e sua correlação dentro do conceito de Universo, superior, com alto grau de generalidade.

A seguir, no quadro 02, apresentamos de forma sintética as três categorias estabelecidas e os critérios para classificação, relativos aos elementos apresentados em cada representação para esta atividade:

QUADRO 02 - Categorias de classificação dos desenhos das atividades de Concepções do Universo

Categoria	Crítérios
Desenho Primitivo	Nível baixo de generalização - Aqueles em que somente elementos do Sistema Solar são apresentados.
Desenho Intermediário	Nível intermediário de generalização - Aquele no qual elementos do Sistema Solar aparecem, contudo alguns elementos do macrocosmos ¹⁶ são apresentados.
Desenho Elaborado	Nível alto de generalização - Aquele em que a representação é coerente com o observado cientificamente, segundo a magnitude do Universo.

¹⁶ Ao utilizar o termo macrocosmos nos referimos aos elementos constituintes do Universo de uma maneira mais ampla, como galáxias, buracos negros, radiação, matéria escura e energia escura.

O mesmo sistema de categorização foi utilizado de forma comparativa nas representações feitas pelos estudantes na devolutiva da atividade, após o desenvolvimento da sequência didática. Tomando por base os modelos propostos cientificamente, foi estabelecida uma comparação entre as novas representações e as feitas inicialmente, no intuito de investigar indícios de uma possível, e esperada, evolução conceitual dos estudantes, e apropriação de novos sentidos acerca do conceito de Universo, do ponto de vista científico escolar.

3.4.2 A ANÁLISE DAS ATIVIDADES INVESTIGATIVAS

A análise textual qualitativa dos planos de investigação desenvolvidos pelos alunos em cada atividade investigativa tomou como alicerce a qualidade e a organização das respostas apresentadas. Também foram consideradas as observações das interações dos estudantes durante a sua realização, registradas por mim.

Dessa forma, para aferir a qualidade da produção dos planos de investigação produzidos pelos alunos de cada grupo na atividade de Laboratório Aberto *Universo Balão*, foram estabelecidos alguns critérios que possibilitassem a avaliação do domínio procedimental, e também conceitual, tomando como base a classificação proposta por Ambrózio (2014). Assim, nessa atividade, os planos de investigação de cada grupo de alunos foram categorizados como “Plano Incipiente, Plano Satisfatório e Plano Bom”, conforme os critérios apresentados no quadro 03:

QUADRO 03 - Categorização via qualidade dos planos apresentados pelos estudantes

(continua)

Categoria	Critérios
Plano Incipiente (I)	Os planos que se apresentaram de forma coerente à redação de um trabalho escolar, contudo não tinham definidos claramente os objetivos da atividade e atendiam parcialmente aos requisitos do trabalho;

QUADRO 03 - Categorização via qualidade dos planos apresentados pelos estudantes

(Conclusão)

Categoria	Critérios
Plano Satisfatório (S)	Os planos que se apresentaram de forma coerente à redação de um trabalho escolar e tinham os objetivos da atividade claramente especificados, as hipóteses apresentadas, a possível manipulação do experimento descrita, avaliação dos resultados obtidos, e a apresentação das conclusões, atendendo parcialmente aos requisitos propostos na atividade;
Plano Bom (B)	Os planos que se apresentaram de forma coerente à redação de um trabalho escolar e tinham os objetivos da atividade claramente especificados, as hipóteses apresentadas, a possível manipulação do experimento descrita, avaliação dos resultados obtidos, a apresentação das conclusões fundamentadas nas análises dos dados coletados e, além disso, apresentaram as possíveis mudanças no plano inicial referentes à reformulação das hipóteses, atendendo totalmente aos requisitos propostos na atividade;

No que se relaciona à aprendizagem de conceitos, a análise dos planos de investigação desenvolvida pelos alunos se deu por meio de uma categorização que objetivou aferir o domínio conceitual apresentando por cada grupo ao executar cada uma das tarefas propostas nas três atividades investigativas. Dessa maneira, em todas as três atividades investigativas, nossa análise se seguiu apoiada em uma classificação que articulou as categorias estabelecidas por Ambrósio (2014) com a perspectiva de aprendizagem de conceitos associada à generalização apresentada por Vygotsky (2001), avaliando se a resposta elaborada pelos alunos para resolução das proposições estava de acordo com os conceitos físicos aceitos na comunidade acadêmica, do ponto de vista científico escolar, considerando os níveis de generalização apresentados na estruturação e articulação dos conceitos associados em cada uma das atividades.

Nessa perspectiva, a classificação das soluções apresentadas aos problemas de estudo pelos estudantes seguiu três tipos de categorias, conforme o quadro 04 a seguir:

QUADRO 04 - Categorias para classificação das respostas segundo o domínio conceitual

Categoria	Critérios
Correta (C)	Se as respostas apresentaram um <i>nível alto de generalização</i> , apresentando de maneira articulada a construção dos conceitos físicos científicos escolares envolvidos na atividade, partindo de conceitos co-subordinados de baixo nível de generalidade, estruturando a construção dos conceitos ditos superiores, com maior nível de generalidade, mesmo que escritos de maneira informal.
Parcialmente Correta (P)	Se as respostas apresentaram um <i>nível intermediário de generalização</i> , apresentando de maneira parcialmente articulada a construção dos conceitos físicos científicos escolares envolvidos na atividade, partindo de conceitos co-subordinados de baixo nível de generalidade, estruturando a construção os conceitos ditos superiores, com maior nível de generalidade, escritos de maneira incompleta ou em partes incorreta.
Incorreta (I)	Se as respostas apresentaram um <i>nível baixo de generalização</i> , não apresentando, ou expondo de maneira muito limitada a construção dos conceitos físicos científicos escolares envolvidos na atividade, se limitando apenas a conceitos de baixa generalidade, em sua maioria equivocados do ponto de vista científico escolar.

No que tange a análise da aprendizagem dentro dos domínios procedimentais, tomamos como base os planos de investigação produzidos pelos estudantes na atividade investigativa de Laboratório Aberto *Universo Balão*. Por meio deles, procedemos nossa análise orientando-nos pelos critérios de categorização quanto à sua qualidade – já apresentados nessa seção – e também por algumas características da proposta de organização funcional dos procedimentos em atividades de aprendizagem no ensino de Ciências, evidenciadas por Pozo e Gómez Crespo (2009), conforme quadro 05.

QUADRO 05 - Classificação dos conteúdos procedimentais segundo Pozo e Postigo

Classificação dos conteúdos procedimentais	
1. Aquisição da informação	a) Observação b) Seleção de informação c) Busca e captação de informação d) Revisão e memorização da informação
2. Interpretação da Informação	a) Decodificação ou tradição da informação b) Uso de modelos para interpretação
3. Análise da informação e realização de inferências	a) Análise e comparação da informação b) Estratégia de raciocínio c) Atividades de investigação ou solução de problemas
4. Compreensão e organização conceitual da informação	a) Compreensão do discurso (escrito/oral) b) Estabelecimento de relações conceituais c) Organização conceitual
5. Comunicação da informação	a) Expressão oral b) Expressão escrita c) Outros tipos de expressões

Fonte: POZO; GÓMEZ CRESPO (2009, P. 59).

Dessa forma, tomando como base as grandes categorias procedimentais propostas pelos autores, os indícios de aprendizagens de procedimentos observados a partir dos planos e ao longo do desenvolvimento da atividade foram relacionados segundo um sistema de categorização estabelecido que será apresentado no momento da análise da dimensão procedimental na subseção 4.2.1 do capítulo de resultados e discussões.

Para a análise da dimensão atitudinal, além das observações das aulas e registros no diário de campo, estabelecemos também duas categorias que serão apresentadas na subseção 4.2.2 do próximo capítulo. Nelas, tomamos como base alguns aspectos que julgamos relevantes propostos por Pozo e Gómez Crespo (2009) acerca de atitudes que devem ser promovidas entre os alunos quanto à ciência e à aprendizagem da ciência, com o ensino da ciência e relacionamos a observação de apropriação e mudanças de atitudes nos estudantes ao longo da intervenção.

Dessa forma, consideramos que tais análises estabelecem a possibilidade de compreensão dos desdobramentos relativos ao processo de aprendizagem nas diferentes tipologias de conteúdos, ao passo que proporciona a investigação e a avaliação da qualidade dos planos de investigação construídos na atividade de Laboratório Aberto, da qualidade das respostas apresentadas nas resoluções para os problemas e da quantidade de grupos de alunos que se aproximaram da resposta correta, apresentando conceitos científicos corretos, do ponto de vista escolar.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao final do desenvolvimento da sequência didática proposta, por meio das atividades desenvolvidas, do registro das aulas no diário de campo e do questionário de opinião aplicado aos alunos, foi possível estabelecer uma estrutura de dados que nos possibilitaram a discussão a que nos propusemos como objetivos desta pesquisa.

Neste capítulo, que será dividido em três seções, apresentaremos, respectivamente, uma análise da evolução da compreensão dos estudantes acerca dos conceitos relacionados à cosmologia e à FMC como indícios de aprendizagem, considerando a dimensão conceitual por meio da sequência didática, mais precisamente da atividade de concepções do Universo e das atividades investigativas; uma análise da aprendizagem segundo a dimensão procedimental por meio dos planos de investigação desenvolvidos pelos alunos na atividade de Laboratório Aberto, e também a dimensão atitudinal de aprendizagem no decorrer do processo de intervenção; e por fim, uma análise do questionário de opinião, por considerar singular a compreensão da influência das impressões dos estudantes, acerca da sequência didática proposta e da perspectiva de ensino diferenciada adotada, na construção de seu aprendizado.

4.1 A APRENDIZAGEM SEGUNDO A DIMENSÃO CONCEITUAL

Vygotsky (2001) nos diz que o processo de formação de conceitos científico é mediado pela palavra, enquanto signo linguístico, e que sua constituição se dá por meio de um longo e complexo processo de evolução do pensamento e não simplesmente por meio e mera repetição e assimilação. Para ele todo conceito é uma generalização e possui uma estrutura sistêmica de outros conceitos, que é construída e elaborada a partir da interação com o outro, pois o aprendiz em contato com um agente com maior experiência – no ambiente escolar, o professor ou outro estudante mais capaz – poderá desempenhar tarefas, e ter êxito, mesmo que elas exijam competências e habilidades que ainda sejam em processo de apropriação por ele.

Nesta seção, abordaremos em nossas análises indícios da aprendizagem de conceitos sobre a Cosmologia e FMC durante o desenvolvimento da sequência didática, considerando a ensejada evolução do entendimento dos estudantes, ao integrar novos significados aos conceitos cotidianos, ampliando seus níveis de generalização na constituição dos conceitos científicos dentro do contexto escolar.

4.1.1 A ATIVIDADE DE CONCEPÇÃO DO UNIVERSO

A análise dessa atividade foi feita a partir dos desenhos e textos elaborados por um total de 106 alunos, categorizando, dentro das discrepâncias apresentadas, as representações iniciais acerca de suas concepções sobre o Universo e comparando-as às representações das concepções após o desenvolvimento da sequência didática. Tomando por base os modelos propostos cientificamente estabelecemos uma comparação acerca da possível, e esperada, apropriação de conceitos na apresentação das concepções após devolutiva feita ao final da intervenção, conforme descrição metodológica apresentada na seção 3.4.1 dessa dissertação.

Na tabela 01 é possível observar a incidência de classificações dentro das categorias estabelecidas das representações feitas pelos estudantes inicialmente, antes da intervenção e desenvolvimento da sequência didática:

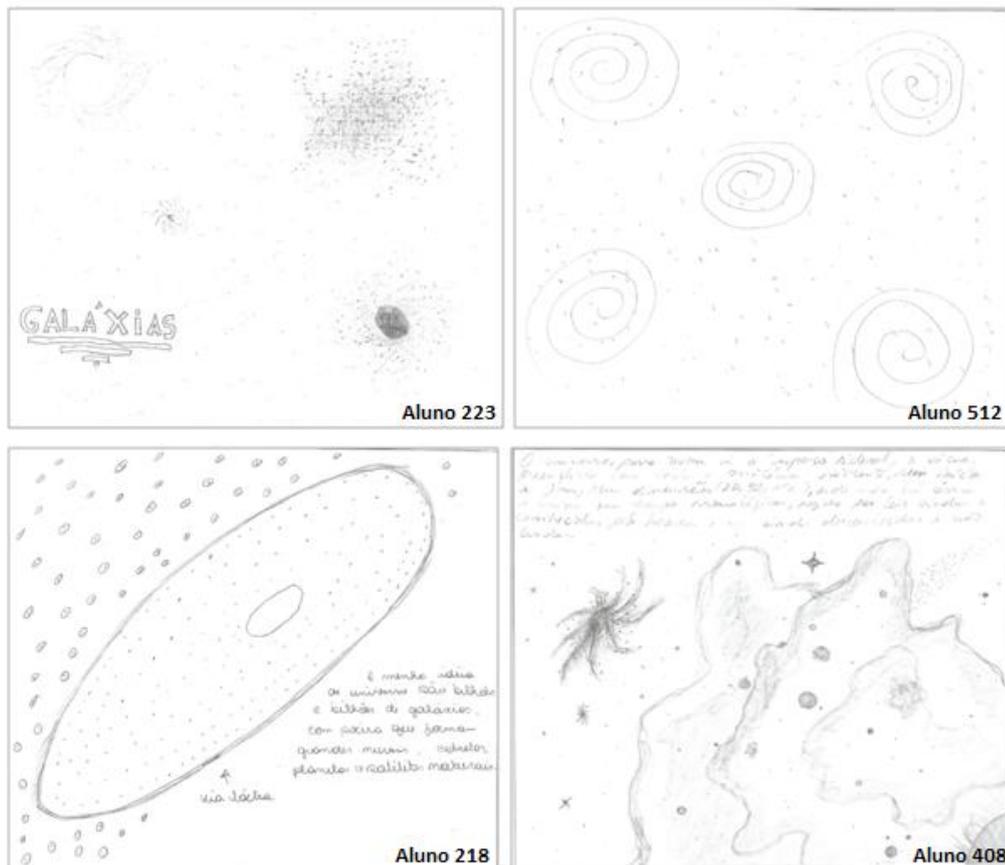
TABELA 01 - Número de desenhos classificados inicialmente de acordo com categorização estabelecida a partir articulação de conceitos subordinados e de níveis de generalização apresentados

CATEGORIA	NÚMERO DE DESENHOS
Desenho Primário	76
Desenho Intermediário	21
Desenho Elaborado	9
TOTAL	106

Entre os 106 desenhos analisados, dentro das categorias apresentadas acima, apenas 9 alunos apresentaram inicialmente o Universo de maneira coerente à sua magnitude e elementos, sendo classificados como *Desenho Elaborado*, por

apresentarem indícios de um alto nível de generalização dos conceitos, expondo de forma articulada a disposição dos elementos de maior escala predominantes e sua correlação dentro do conceito de Universo.

FIGURA 05 - Representação da concepção de Universo de quatro alunos feita antes da intervenção, classificadas na categoria Desenho Elaborado



As representações classificadas como *Desenho Elaborado* foram assim categorizadas por apresentar evidências do entendimento da magnitude do Universo, feita através da exposição da disposição das galáxias, elementos de maior escala predominante. Na figura 05 é possível observar as representações da concepção inicial do Universo de quatro alunos de diferentes turmas, que se enquadraram nesta categoria. A partir dos desenhos é possível observar indícios de um alto nível de generalização de conceitos já consolidado por estes alunos, acerca da magnitude, extensão e estrutura do Universo. De acordo com a professora, estes alunos já possuíam um bom desempenho na disciplina de física, além de se

mostrarem dedicados e curiosos no que se relaciona aos conhecimentos científicos associados a esta área de conhecimento.

Em cada uma das demais categorias estabelecidas, *Desenho Intermediário* e *Desenho Primário*, houve representações de elementos do Universo discrepantes aos conceitualmente aceitos na comunidade científica, no que se refere à escala, quantidade, distribuição e disposição dos elementos apresentados.

Um total de 21 alunos apresentaram desenhos que foram classificados dentro da categoria, *Desenho Intermediário*, por apresentarem uma sistematização de conceitos subordinados parcialmente articulada com um nível intermediário de generalização. Nessa categoria, as representações do Universo apresentadas pelos estudantes foram constituídas também, em sua maioria, por elementos do Sistema Solar, entretanto foram feitas referência à existência de galáxias, buracos negros, radiação, mesmo existindo alguns erros no que se refere à representação de disposição e escala, apresentando indícios de uma articulação intermediária na organização dos conceitos co-subordinados para formação do conceito de Universo.

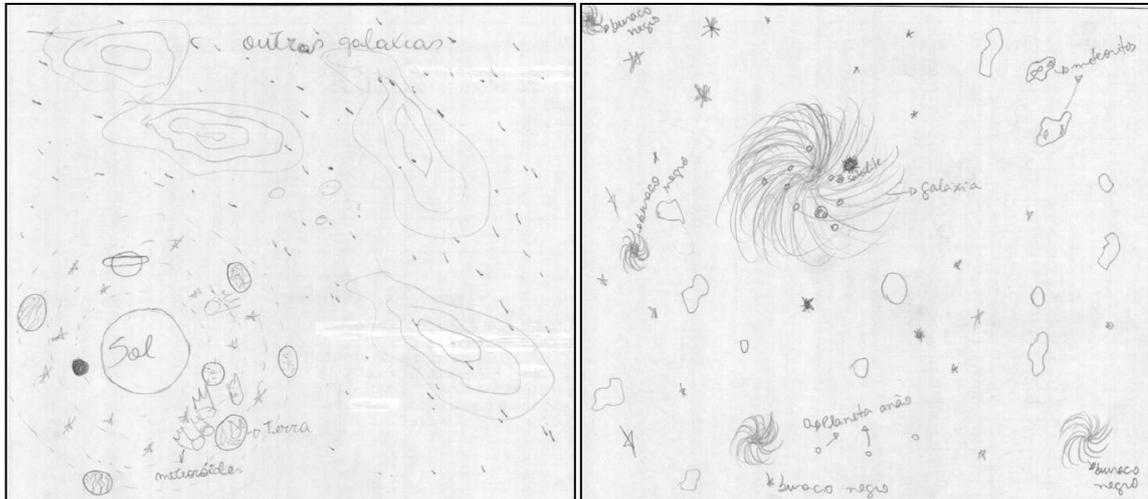
TABELA 02 - Ocorrência de representações conceituais errôneas dentro da categoria de Desenhos Intermediários

REPRESENTAÇÕES	OCORRÊNCIA
Lua orbitando o Sol	1
Lua não orbitando a Terra	3
Estrelas dispersas entre as galáxias	6
Planetas alinhados	3
Planetas distribuídos aleatoriamente	5
Meteoritos entre galáxias	2
Buracos negros dispersos entre galáxias	3

Dos 21 desenhos classificados nesta categoria, cinco deles mencionaram a existência de buracos negros, apenas ressaltaram a presença de radiação e todos eles fizeram referência a galáxias. Mesmo apresentando elementos do macrocosmo

alguns alunos fizeram representações equivocadas, como é possível observar na tabela 02 apresentada acima.

FIGURA 06 - Concepção inicial sobre o Universo dos alunos 106 e 115, respectivamente.



A figura 06 apresenta as representações feitas inicialmente pelos alunos 106 e 115, respectivamente, que foram classificados na categoria de *Desenho Intermediário*. O aluno 106 claramente mostra o conhecimento da existência de outras galáxias e apresenta uma sistematização de conceitos co-subordinados, pois não se atém à questão da escala e representa o nosso sistema solar em proporcionalidade com as demais galáxias evidenciando uma confusão na formação dos conceitos subordinados de galáxia e sistema planetário, não distinguindo a Via Láctea do nosso sistema solar. Já o aluno 115 apresenta, além do conceito co-subordinado galáxia em seu desenho, o conceito de buraco negro, contudo representa tais elementos de maneira dissociada e também distribui de forma equivocada planetas e meteoros em meio às galáxias, mostrando uma falta de compreensão dos conceitos co-subordinados de forma articulada para formação do conceito superior.

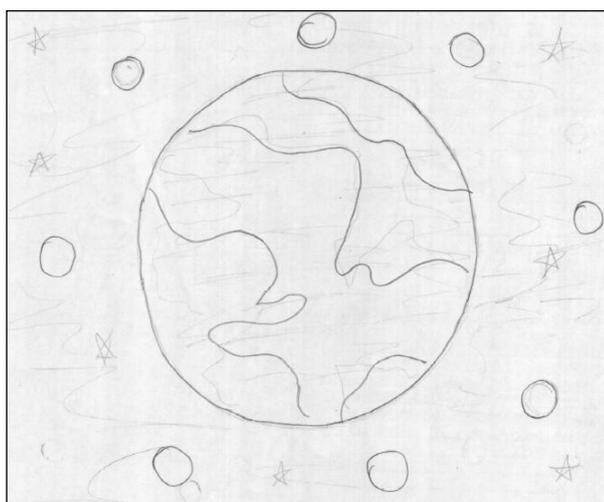
Do total de alunos participantes desta atividade¹⁷, 76 alunos tiveram seus desenhos classificados dentro da categoria *Desenho Primário*, por apresentarem um baixo nível de generalização ao representarem somente elementos do nosso sistema

¹⁷ Consideramos importante ressaltar que essa é uma das atividades desenvolvida no decorrer da intervenção, e que devido à não assiduidade de alguns alunos e às questões temporais da pesquisa apenas foram analisados desenhos dos 106 alunos que fizeram as representações na forma de desenhos antes e após a intervenção.

planetário, indicando uma concepção restrita e desorganizada dos conceitos co-subordinados estruturantes do conceito de Universo, dito superior, relacionando de forma desarticulada os demais conceitos a ele associados. Dentro desta categoria, representações como planetas alinhados, lua dissociada da Terra e em desproporção de tamanho em escala, cometas fora da órbita da Terra, estrelas em meio ao sistema solar e o não reconhecimento do sol como uma estrela foram recorrentes, o que evidencia que os estudantes possuem um conhecimento raso e em sua maioria equivocado acerca do Universo como um todo.

Uma concepção geocêntrica de Universo é apresentada na figura 07, na qual o aluno 110 representa a Terra no centro de seu Universo, circundada por oito planetas. Apesar de admitir a existência de estrelas, a representação é feita sob o formato lúdico e sem preocupação com a escala, dentro das proporções apresentadas nos desenhos.

FIGURA 07 - Concepção inicial sobre o Universo do Aluno 110



Nessa representação o aluno apresenta alguns conceitos co-subordinados que são necessários para formação do conceito de Universo, como planetas e estrelas, mas não os sistematiza dentro da estrutura de conceitos para formação do conceito científico de Universo.

Na tabela 03 a seguir é possível observar a recorrência de algumas representações carregadas de concepções espontâneas, que não correspondem ao conhecimento científico:

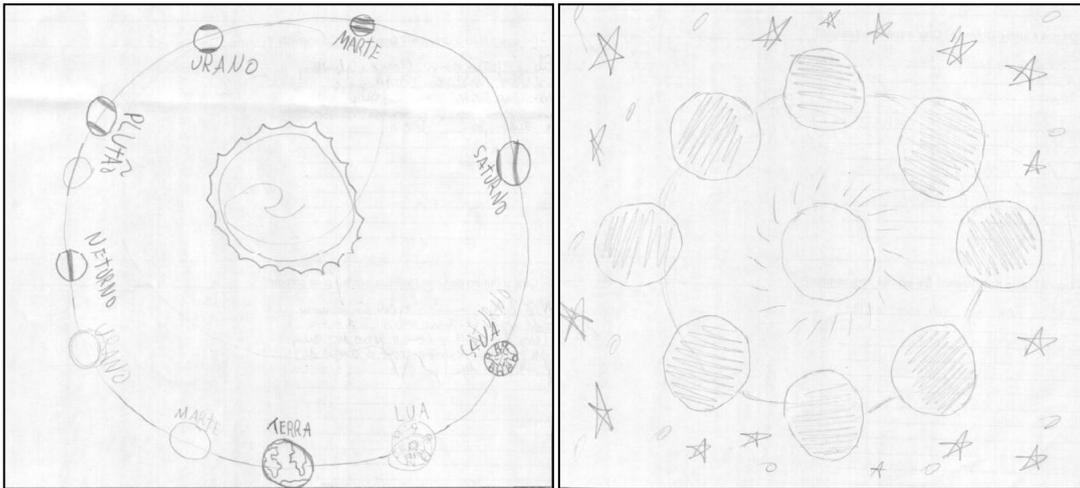
TABELA 03 - Ocorrência de representações conceituais errôneas dentro da categoria de Desenhos Primários

REPRESENTAÇÕES	OCORRÊNCIA
Planetas alinhados	27
Planetas distribuídos aleatoriamente	24
Planetas orbitando da Terra	2
Planetas em uma orbita em torno do sol	5
Somente a Terra	8
Lua orbitando o Sol	6
Lua em escala maior que os demais planetas	14
Lua não orbitando a Terra	24
Lua alinhada aos planetas	2
Lua sob a forma Minguante ou crescente	10
Estrelas em meio ao sistema solar	42
Meteoros fora da orbita da Terra, dispersos no espaço	15
Satélites artificiais dispersos no sistema solar	8

A concepção de Universo restrita ao Sistema Solar prevalece entre a maioria dos estudantes, o que é possível observar nas figuras 08 e 09.

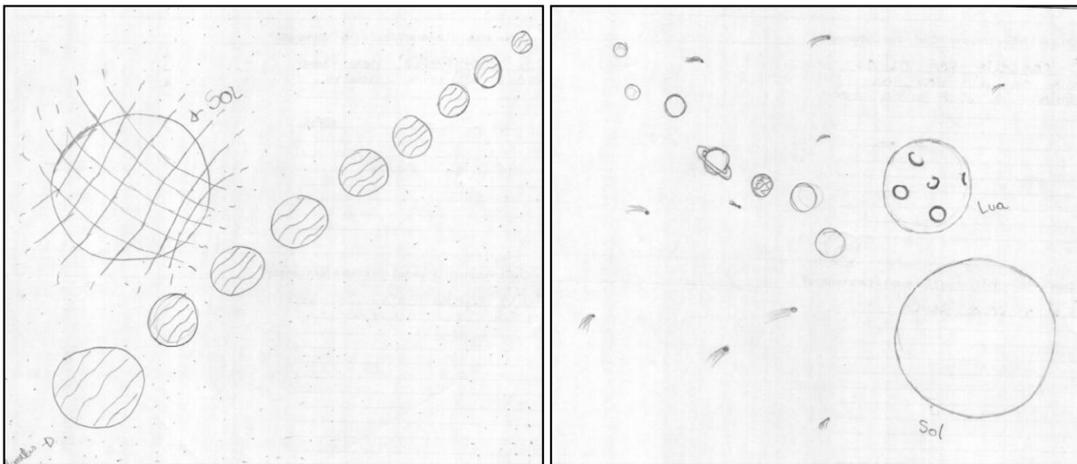
Na figura 08 apresentamos duas representações feitas inicialmente, e de forma equivocada, pelos estudantes para representação do Universo, nelas o Sol ocupa a posição central, circundado pelos planetas alinhados em uma única órbita. No desenho concebido pelo aluno 318, a Lua aparece orbitando o Sol e em proporção equivalente à dimensão da Terra, os planetas são nomeados, contudo apenas alguns são lembrados. Já a representação do aluno 219, estrelas são apresentadas dispersas ao fundo, de forma diferente da feita para o sol, indicando o não reconhecimento do mesmo como uma estrela.

FIGURA 08 - Concepções do Universo apresentadas inicialmente pelos Alunos 318 e 219, respectivamente.



Na figura 09, os alunos representaram seu Universo composto simplesmente pelo nosso Sistema Solar, com a apresentação de conceitos incorretos no que se refere ao alinhamento dos planetas em relação ao Sol e suas dimensões, a ilustração da Lua não orbitando a Terra e em escala maior que os demais planetas.

FIGURA 09 - Concepções do Universo apresentadas inicialmente pelos Alunos 510 e 406, respectivamente.



Os alunos também apresentaram os conceitos planetas, satélites, sol e estrelas, entretanto a articulação desses conceitos co-subordinados não é feita de forma sistematizada dentro da estrutura que conduziria à formação do conceito de Universo. Dessa forma, é possível perceber que para estes alunos o conceito superior de Universo está ainda em processo de formação, uma vez que mesmo

apresentando alguns conceitos co-subordinados os alunos o fazem de forma desarticulada – e por vezes equivocada – dentro do sistema de estruturação do conceito superior.

Com base nas representações classificadas como Desenho Primário, como as apresentadas nas figuras 07, 08 e 09 que foram destacadas entre as demais produzidas por vários alunos de diferentes turmas, podemos sinalizar para o fato de que o período vivenciado no Ensino Fundamental não estabeleceu situações de aprendizado e desenvolvimento para que os alunos consolidassem conceituações sobre o Universo mais elaboradas e coerentes com o cientificamente aceitável. Estas lacunas conduzem o aluno à manutenção e preservação das concepções espontâneas ao chegar ao ensino médio, reforçando a necessidade de se proporcionar aos estudantes nesta etapa de sua vida escolar condições favoráveis para que construam conhecimentos mais elaborados sobre temas científicos relacionados a este tema.

Ao final do desenvolvimento da sequência didática, os alunos tiveram a oportunidade de autoavaliar seu processo de aprendizagem através da devolutiva da atividade de representação das concepções de Universo. Neste momento, os estudantes reavaliaram seus desenhos e puderam refletir sobre o que foi aprendido, reestruturando sua representação inicial caso julgassem necessário.

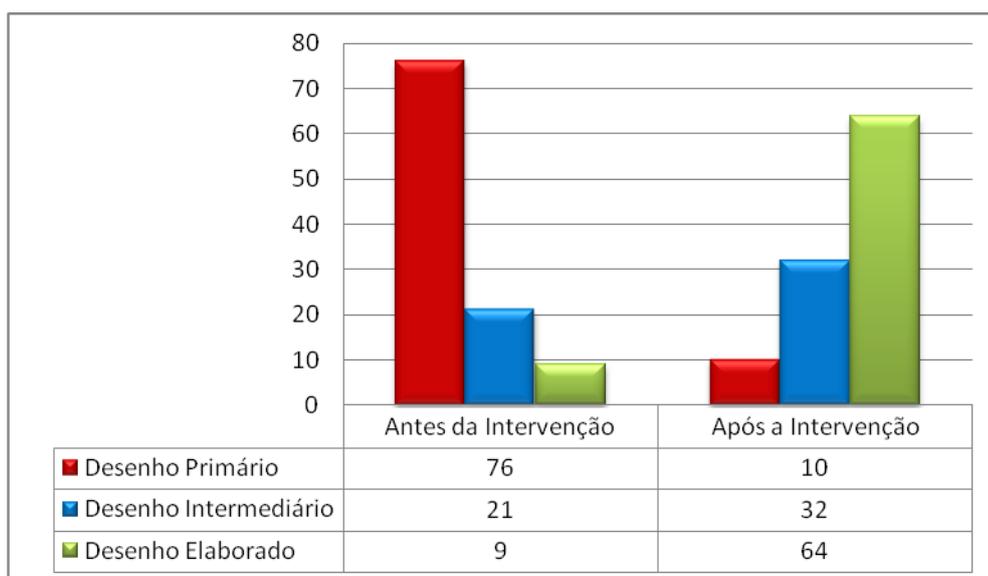
Ao analisar as representações dos alunos inicialmente classificados na categoria *Desenho Primário* foi possível observar uma possível apropriação conceitual dos mesmos, uma vez que em suas novas representações 40 delas apresentaram elementos dentro de uma estrutura de organização e sistematização de conceitos co-subordinados que as fariam se enquadrar na categoria *Desenho Elaborado*. Enquanto 27 alunos incorporaram novos conceitos, como galáxias e radiação em suas novas representações, além de apresentar correções à representação apresentada erroneamente, sendo reclassificados dentro da categoria *Desenho Intermediário*.

Apenas nove alunos optaram por não alterar a representação inicial, não justificando a motivação. Dos 21 alunos com desenhos classificados na categoria *Desenho Intermediário* inicialmente, 16 deles se enquadrariam ao final na categoria de

Desenho Elaborado, dos quais três ainda fizeram referência à matéria e energia escuras. Destes, apenas cinco desenhos foram reestruturados com correções de algumas discrepâncias, sem introdução de outros conceitos, apresentando indícios de que os alunos ainda estão desenvolvendo o conceito Universo, pois de acordo com Vygotsky (2001, p. 245) “o processo de desenvolvimento interior do conceito sucede o processo de aprendizagem, como sombra lançada pelo objeto”, e não necessariamente ocorre no curso da trajetória escolar do estudante.

Através da figura 10 é possível observar o crescimento significativo na categorização dos desenhos classificados como *Elaborados* após a intervenção. Fica evidente que a sua ocorrência aumentou em seis vezes, ao passo que os desenhos classificados como *Primários* sofreram uma redução passando a um valor sete vezes menor.

FIGURA 10 - Gráfico comparativo da categorização dos desenhos realizada antes e após a intervenção



A partir dos desenhos apresentados nas figuras 11, 12 e 13, selecionados aleatoriamente dentre os demais que apresentaram mudança em seus desenhos representativos, é possível observar a tomada consciência da grandiosidade do Universo, a apropriação de novos conceitos e associação de novos significados, evidenciando o desenvolvimento do conhecimento baseado em um conceito elementar cotidiano a um conceito científico estruturado, dentro de seus distintos níveis de generalidade. Nas representações feitas por esses alunos ficou clara a associação de novos conceitos e a observância da magnitude do Universo após a

intervenção. Elas se mostram bem distintas das feitas inicialmente, que haviam sido elaboradas com apenas elementos associados ao nosso sistema planetário, e de forma equivocada quanto à disposição.

Na figura 11, em seu desenho feito após o desenvolvimento da sequência didática, o aluno 406 apresentou seu Universo de forma mais elaborada que o feito inicialmente, desenhando ele em expansão, repleto de galáxias – representando as espirais barradas e normais – e com a presença de radiação, evidenciando a apropriação de novos conceitos co-subordinados na sistematização do conceito superior.

FIGURA 11 - Concepção do Universo apresentada pelo Aluno 406, antes e após a intervenção, respectivamente.

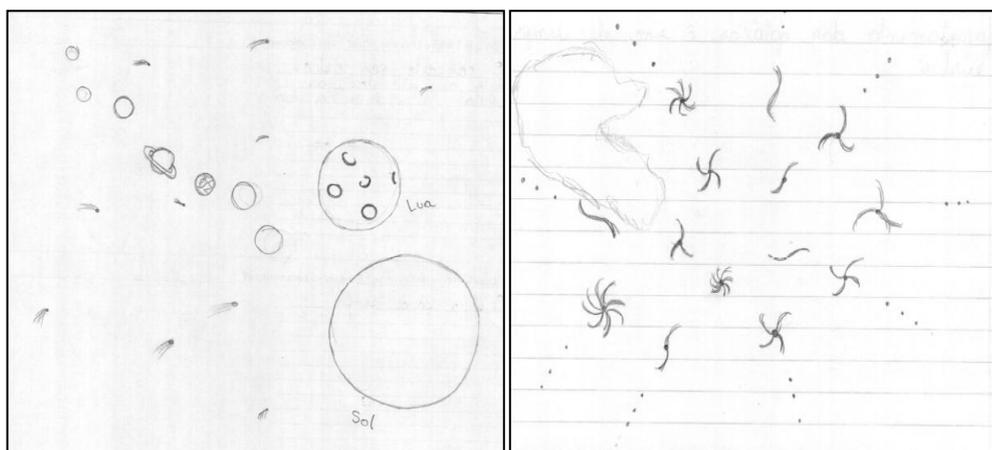
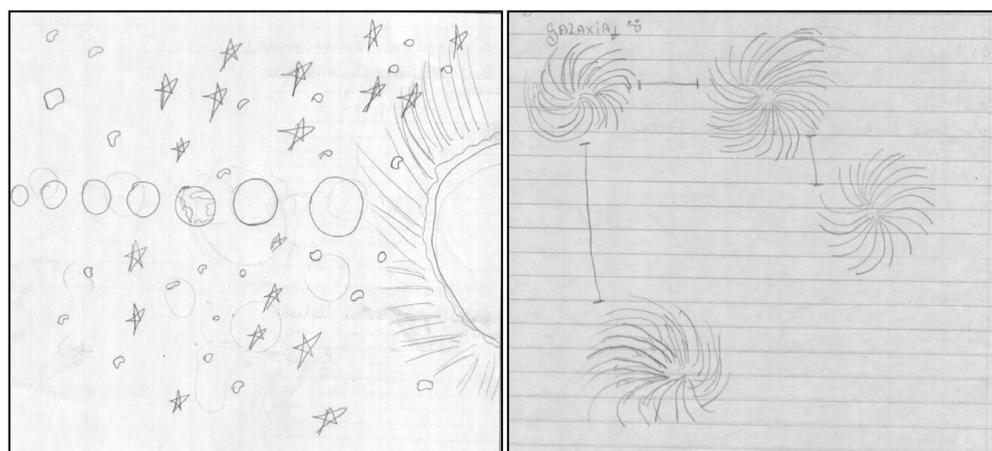


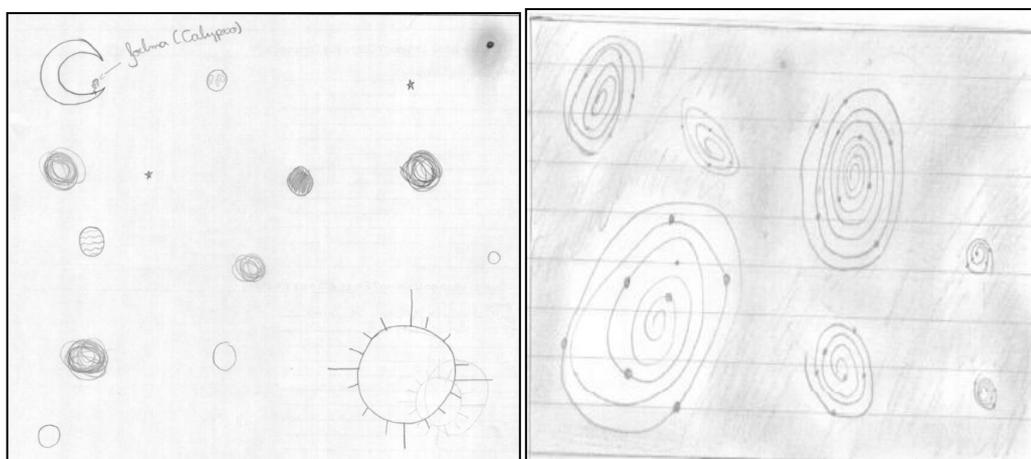
FIGURA 12 - Concepção do Universo apresentada pelo Aluno 210, antes e após a intervenção, respectivamente.



O aluno 210, que tem seus desenhos apresentados na figura 12, representou o Universo inicialmente com elementos do sistema solar, fazendo menção aos planetas e estrelas dispostos de forma equivocada. Já em sua representação feita após a intervenção, traz em sua nova representação um Universo em expansão, apresentando a relação de distanciamento entre as galáxias, apresentando indícios da assimilação da amplitude do Universo.

Na figura 13, o desenho feito pelo aluno 414 após a intervenção, apresenta-se de maneira bem distinta da feita inicialmente, apresentando uma evolução em seu nível de generalização ao apresentar uma disposição de diversas galáxias, com representação de possíveis sistemas planetários em seu interior, distribuídas em um meio difuso, com apresentação do que seria possivelmente matéria escura. Fica evidente a articulação de novos conceitos co-subordinados, incorporados aos apresentados inicialmente, para formação do conceito superior.

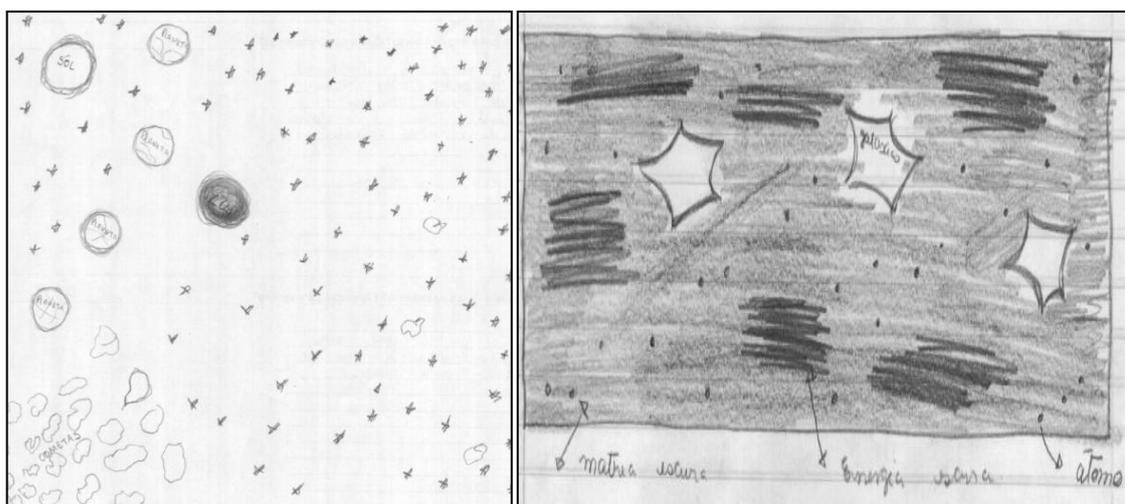
FIGURA 13 - Concepção do Universo apresentada pelo Aluno 414, antes e após a intervenção, respectivamente.



A mudança no discurso, e a incorporação de novos significados para a construção do conceito superior marca a representação de Universo feita, após o desenvolvimento da sequência didática, pelo aluno 215 apresentada na figura 14. Nela é possível observar que inicialmente a concepção de Universo do estudante era restrita a estruturas elementares, girando em torno dos conceitos co-subordinados de planetas, meteoros e estrelas – apresentados de maneira equivocada – e que houve significativa associação de novos conceitos. Em sua representação final, o aluno apresentou uma para sistematização do conceito

Universo uma estrutura organizada e articulada de novos conceitos co-subordinados, representando seu Universo composto por galáxias distribuídas em um meio difuso, permeadas por matéria e energias escuras.

FIGURA 14 - Concepção do Universo apresentada pelo Aluno 215, antes e após a intervenção, respectivamente.



Vale chamar atenção para a utilização do modelo representativo feita por 12 alunos, no qual além de apresentarem à matéria e energia escuras estabelecem a representação da história térmica do Universo em sua evolução a partir do *Big Bang*, reproduzindo a forma como parte do conteúdo foi exposto em sala de aula.

Na figura 15, apresentamos a representação do Universo do aluno 216, que inicialmente em seu desenho apresentou alguns elementos de nosso sistema planetário de forma desestruturada, com estrelas dispersas e diferenciadas do sol, mostrando não reconhecer o sol como uma estrela. Já em sua representação após a intervenção, o estudante trouxe para o seu desenho elementos discutidos ao longo do desenvolvimento da sequência didática, mostrando assimilação entre a origem o Universo a partir do modelo do *Big Bang*, e sua evolução com a estruturação das partículas elementares, formação dos átomos, primeiras estrelas e a constituição das galáxias. Fato que evidencia a assimilação de novos significados e consolidação dos conceitos científicos com a evolução dos níveis de generalização dos conceitos associados.

FIGURA 15 - Concepção do Universo apresentada pelo Aluno 216, antes e após a intervenção, respectivamente.



Segundo Vygotsky (2001) a essência do desenvolvimento de um conceito científico é, primeiramente, a transição de uma estrutura de baixo nível generalização à outra de mais alto nível, onde “os conceitos psicologicamente concebidos evoluem como significados das palavras, [...] substituídos por generalizações de um tipo cada vez mais elevado, culminando o processo na formação dos verdadeiros conceitos” (VYGOTSKY, 2001, p. 246).

De acordo com Crepalde e Aguiar (2013), o ensino do conceito científico assume um caráter necessário, mas não suficiente para a sua aprendizagem, uma vez que o pensamento reflexivo de conceitos científicos vai além de uma nova relação com o objeto de estudo, passando a uma *reconceitualização* do conhecimento já existente.

Consideramos que o desenvolvimento do conceito científico é parte do movimento vivo, da generalização que ascende ao concreto. Dessa forma, a construção de relações a partir do diálogo dos significados cotidianos e científicos, principalmente quando esses conceitos são designados pelas mesmas palavras, pode constituir-se um poderoso instrumento de ressignificação, ou seja, dentro do pensamento teórico de Vigotski, de construção do verdadeiro conceito. (CREPALDE e AGUIAR, 2013, p.321).

Nesse sentido, a transição do pensamento em conceito cotidiano à reflexão em conceito científico se torna perceptível a partir da mudança nas representações que os estudantes utilizam para expressar a articulação e apropriação de novos conceitos, evoluindo em seus níveis de generalização a partir do estabelecimento e associação de novos significados em torno do conceito de Universo.

4.1.2 AS ATIVIDADES INVESTIGATIVAS

Vygotsky (2001, p. 237) nos diz que: “A formação dos conceitos surge sempre no processo de solução de algum problema que se coloca para o adolescente. Só como resultado da solução desse problema surge o conceito”. Nesse sentido, no que se refere à aprendizagem e desenvolvimento de conceitos, todas as atividades investigativas propostas foram pensadas e construídas de modo a se apresentar inicialmente como uma situação problema para os alunos. Nelas, a prioridade estava em problematizar a situação envolvida em cada atividade, no intuito de compreender como os grupos de estudantes conduziram a construção da argumentação ou explicação dos fenômenos e conceitos envolvidos em cada uma delas.

Apresentaremos nessa seção alguns resultados associados às três atividades investigativas desenvolvidas ao longo da intervenção educacional por meio da sequência didática proposta, no que tange a dimensão conceitual. Em nossa análise tomamos como base os planos de investigação desenvolvidos pelos alunos na atividade de Laboratório Aberto *Universo Balão* e as respostas apresentadas pelos alunos nas outras duas atividades de Problema Aberto *Redshift* e de Questão Aberta *Big Bang*, que foram classificados de acordo com os critérios de categorização apresentados na seção 3.4.2 dessa dissertação.

Dessa forma, no que tange a aprendizagem de conceitos científicos, em todas as três atividades investigativas a análise foi feita considerando os níveis de generalização de conceitos apresentados pelos alunos e se a resposta elaborada para resolução das proposições estava de acordo com os conceitos físicos aceitos na comunidade acadêmica, do ponto de vista científico escolar. Por meio das três categorias estabelecidas foi possível avaliar a quantidade de grupos de alunos que se aproximaram da resposta considerada correta, bem como a qualidade de suas respostas ao articularem resoluções para os problemas propostos de forma coerente com a estruturação de um sistema de conceitos científicos tidos como subordinados na constituição de um conceito dito superior, do ponto de vista escolar.

4.1.2.1 A Atividade Investigativa Universo Balão

FIGURA 16 - Apresentação do problema da Atividade Investigativa Universo Balão

- ⇨ Analisem calmamente o problema.
- ⇨ Registre todas as hipóteses levantadas pelo grupo.
- ⇨ Releia seu plano antes de entregá-lo à professora.
- ⇨ Deixe todos os argumentos, a forma como os dados serão coletados e resultados esperados no plano do grupo.

Em nossas últimas aulas estudamos alguns tópicos relacionados ao Universo e sua evolução, evidenciando com base nos estudos recentes da cosmologia que o Universo parece estar ficando cada vez maior. Podemos usar um balão para nos ajudar a compreender o que está acontecendo no cosmos. Nesta atividade, o balão representa o Universo; e como já discutimos ele está repleto de galáxias.

Como vocês construiriam, utilizando os materiais descritos abaixo, uma representação através da qual fosse possível simular a expansão do Universo e justificar (comprovar ou correlacionar) os fenômenos associados? Discutam e expliquem como os materiais seriam organizados para construir a representação.

Materiais

- 01 Balão arredondado
- 06 Etiquetas adesivas
- 01 Fita métrica
- 01 Prendedor para balão



A primeira atividade investigativa de Laboratório Aberto, denominado *Universo Balão* foi desenvolvida após as *aulas teóricas expositivo-dialogadas*, intituladas “*A Cosmologia e o Universo que Observamos*” e “*O Universo em Expansão*”, nela os estudantes, em grupos, deveriam elaborar um plano de investigação para responder a uma questão referente à representação da expansão do Universo usando materiais apresentados previamente, conforme figura 16 acima.

Analisamos os planos dos grupos de acordo com a categorização para a dimensão conceitual apresentada anteriormente, avaliando se os alunos apresentaram em suas respostas a solução para a situação problema sistematizando de forma

estruturada os conceitos científicos escolares envolvidos, dentro dos níveis de generalização sob a luz de Vygotsky. Na tabela 04 apresentamos, separados por turma, os dados da classificação feita de acordo com tais critérios:

TABELA 04 - Classificação para as soluções apresentadas na Atividade Investigativa de Laboratório Aberto Universo Balão

SOLUÇÃO DO PROBLEMA: ATIVIDADE DE LABORATÓRIO ABERTO - “UNIVERSO BALÃO”																								
Turmas	2V1				2V2					2V3					2V4					2V5				
Grupos	G101	G102	G103	G104	G201	G202	G203	G204	G205	G301	G302	G303	G304	G305	G401	G402	G403	G404	G405	G501	G502	G503	G504	G505
Categoria	P	I	P	P	C	C	C	C	P	P	C	C	C	P	C	C	C	P	P	P	P	P	P	P

Foram consideradas respostas *corretas* aquelas em que os estudantes apresentaram argumentos que evidenciaram o entendimento da necessidade de haver proporcionalidade direta entre a distância inicial dos pontos que representassem as galáxias e o afastamento entre eles ao se injetar ar para expandir o balão, apresentando um alto nível de generalização dos conceitos co-subordinados envolvidos na conceituação da velocidade de afastamento das galáxias e da expansão do Universo, mesmo que de maneira informal.

Como exemplos de respostas classificadas como corretas para a solução da problemática desta atividade, apresentamos abaixo algumas das conclusões propostas por alguns grupos de diferentes turmas, no intuito e subsidiar nossas análises.

Na conclusão apresentada pelos alunos do grupo G204, podemos observar que inicialmente os alunos apresentam a relação de distanciamento das galáxias, abordando alguns elementos necessários para a explicação do fenômeno de expansão do Universo. No caminho explicativo utilizado por eles, mencionam os conceitos co-subordinados de distanciamento entre as galáxias e velocidade de afastamento entre elas, que se configuram como antes na conceituação da expansão do Universo.

“Na aula anterior não sabíamos que o **afastamento entre as galáxias era diretamente intrínseco a velocidade**. Ou seja, **quanto mais distante uma galáxia da outra, mais rápido ela se distancia**, ou seja, mais ela se distancia. E hoje, corroboramos essa conclusão através da análise que:

tendo como referência uma galáxia e duas aos seus flancos com distância de 6cm e 9cm, enchendo o balão, podemos perceber que a mais distante aumentou sua longitude de 9cm para 14cm, enquanto a de 6cm foi para 9cm. Ou seja, a galáxia mais distante aumentou sua distância em 5cm ao mesmo passo que a mais próxima aumentou 3cm. Por meio desta analogia podemos encontrar evidências da **expansão do universo, como fez Hubble**" (G204 – Turma 2V2).

Ao analisar a resposta apresentada é possível observar que os alunos construíram a conclusão à problemática utilizando alguns termos fornecidos pela professora durante as aulas e orientações, apresentando indícios de apropriação das palavras da professora, empregando-as em seus discursos mesmo que de maneira pouco estruturada. Tal fato evidencia o papel da mediação no processo de apropriação de conceitos no decorrer do desenvolvimento da atividade em sala de aula, e sua influência no processo de aprendizagem de conceitos e seu desenvolvimento que se dá posteriormente.

A seguir, as conclusões apresentadas pelos alunos dos grupos G402 e G203 também apresentam indícios de um alto nível de generalização dos conceitos associados à expansão do Universo,

"Durante o experimento foi determinado que os adesivos dispostos com maior diferença de distância entre si (antes do balão ser inflado) tiveram sua distância aumentada em maior proporção do que os adesivos que foram dispostos com menos diferença de distância. Comprovando assim que **quanto maior for a distância entre duas galáxias maior será a velocidade de distanciamento entre as tais galáxias citadas**. Dessa forma podemos perceber, por meio da analogia que o universo se expande com uma velocidade cada vez maior". (Conclusão do grupo G402)

"Percebemos, com as duas hipóteses levantadas (1ª colar as etiquetas que representam as galáxias em diferentes distâncias e inflar o balão; 2ª colar as etiquetas que representam as galáxias em diferentes distâncias e esticar o balão), que as **galáxias estão se afastando**, mas também que **quanto maior for a distância entre elas, mais rápido elas irão se afastar uma das outras**." (Conclusão do grupo G203)

As respostas apresentada pelos grupos também evidenciaram elementos necessários para a explicação do fenômeno de expansão do Universo, como a distância entre as galáxias, seu distanciamento e a relação com a velocidade, estruturando assim a conceituação da expansão do Universo, tido como conceito superior.

Alguns grupos não deixaram claro em seus planos como seria possível obter essa diferença entre as distâncias inicial e final. Nestes casos as resoluções foram consideradas *parcialmente corretas*, pois apesar de saberem que deveria haver diferença entre as distâncias iniciais e finais e correlacionarem à expansão do balão à do Universo, os estudantes não apresentaram evidências do entendimento da existência de proporcionalidade entre as distâncias iniciais e o afastamento relativo entre os pontos, correlacionando os conceitos co-subordinados associados ao distanciamento das galáxias e à velocidade de afastamento entre elas, discutidos durante as aulas, apresentando um nível de generalização intermediário na sistematização do conceito superior envolvido.

Selecionamos de forma aleatória algumas das respostas apresentadas pelos grupos que foram classificados dentro dessa categoria:

“Quanto maior a **expansão do universo**, maior será a **distância entre as galáxias** e estrelas, aumentando proporcionalmente cada uma.” (Conclusão do grupo G504)

“O grupo concluiu que quanto **mais cheio o balão mais afastados os adesivos ficam**, como se o Universo estivesse se expandindo cada vez mais.” (Conclusão do grupo G301)

“Após fazermos a experiência concluímos que a hipótese 1 deu certo (encher o balão e colar os adesivos nele como se o balão fosse o universo e a fita para medir a distância inicial e a depois de uma expansão), pois com a fita métrica conseguimos medir a **distância entre as galáxias** e percebemos que **quanto mais enchíamos a bola, mais elas se separavam.**” (Conclusão do grupo G502)

Nas três conclusões apresentadas que foram classificados dentro de um nível intermediário de generalizações, *categorizadas como parcialmente corretas*, é possível notar que as respostas ainda estão carregadas de concepções espontâneas, que não correspondem diretamente ao conhecimento científico, e também mostram uma de articulação desses conceitos com os conceitos científicos co-subordinados associados aos fenômenos de expansão do Universo em questão. Tal fato evidencia que os conceitos ainda estão em processo de formação, e que por mais que a aprendizagem tenha ocorrido no decorrer da atividade, a apropriação dos conceitos ainda não ocorreu de forma completa.

Em dois grupos, classificados dentro dessa categoria, foi registrada a observação da falta de simetria ao inflar o balão, pois ao distribuírem os adesivos sobre a superfície

alguns pontos não se comportaram como o esperado e proposto nas hipóteses, devido ao formato e material do mesmo. Neste caso, os grupos que justificaram suas respostas tiveram sua solução classificada como *parcialmente correta*, por associar a expansão do Universo ao distanciamento das galáxias em meio aos imprevistos da manipulação do material experimental. Abaixo podemos observar as duas respostas apresentadas:

“Através do experimento não chegamos à conclusão que queríamos, pois o balão não é simétrico, e ao assoprarmos ele enche mais na parte superior, e também depende muito da maneira que colocamos os adesivos, no caso, as galáxias. A única conclusão que tiramos é que **as galáxias não se afastam na mesma proporção, e sim de forma aleatória.**” (Conclusão do grupo G404)

“Através da experiência pudemos perceber que o **Universo se expande**, mas não conseguimos chegar a uma conclusão, porque a bola não dilata da mesma forma para todos os lados, e **os adesivos (galáxias) se afastam aleatoriamente.**” (Conclusão do grupo G205)

Podemos observar nas respostas apresentadas na conclusão da atividade que os conceitos co-subordinados relacionados ao distanciamento das galáxias para a expansão do Universo são evidenciados, mas não há articulação de conceitos científicos na sistematização do conceito superior. Contudo, os alunos identificaram que o fato de não haver simetria no material usado experimentalmente seria a justificativa para não terem chegado a uma conclusão mediante as hipóteses levantadas.

Dos 24 grupos, apenas um dos grupos teve a solução para o problema classificada como incorreta por apresentar argumentos em sua totalidade equivocados aos conceitos físicos, do ponto de vista escolar ao estabelecer uma escrita confusa entre unidades distância (ano – luz) como referência de tempo para o distanciamento dos pontos representativos, conforme apresentado abaixo:

“Concluimos que nosso universo está se expandindo, e a cada ano-luz ele se distancia de 3 em 3 cm”. (Conclusão do grupo G102)

Na conclusão, o grupo expõe o conceito superior de expansão do Universo, mas não relaciona de forma coerente e articulada nenhum conceito co-subordinado necessário para sua estruturação. Os estudantes do grupo não fazem nenhuma sistematização e articulação dos conceitos, apenas fazem menção à distância

medida no arranjo experimental estabelecendo uma relação equivocada entre tempo e distância ao mencionar a unidade de medida astronômica de ano-luz, apresentando níveis muito baixos de generalização dos conceitos associados à atividade. Tal fato apresenta indícios que a apropriação de novos conceitos e o seu desenvolvimento ainda estão em andamento, e mais uma vez consideramos citar Vygotsky (2001), e ressaltar que o processo de desenvolvimento de um conceito a sua tomada de consciência não acompanham de fato o processo de aprendizagem dentro do curso do programa escolar.

Não obstante, considerando os resultados descritos na tabela 05 julgamos pertinente, de uma forma geral, afirmar que os grupos apresentaram bons níveis de generalização dos conceitos na construção de suas respostas para a solução da situação problema apresentada inicialmente, uma vez que apenas um grupo dentre todos os participantes apresentou resposta classificada como *Incorreta*, levando-nos a acreditar que houve sim apropriação e desenvolvimento de novos conceitos científicos pelos alunos durante o processo de aprendizagem em sala de aula.

4.1.2.2 A Atividade Investigativa *Redshift*

A segunda atividade investigativa, que consistiu no Problema Aberto denominado *Redshift*, foi desenvolvida logo após a atividade anterior *Universo Balão*, nela os alunos deveriam em grupo debater e responder a duas questões, ambas associadas também à expansão do Universo, entretanto deveriam ainda incorporar às suas respostas novos conceitos co-subordinados discutidos nas aulas para construção de suas conclusões. A primeira questão associava a conceitos de espectroscopia e o desvio para o vermelho das linhas espectrais (*Redshift*), problematizando o estudo da expansão do Universo a partir destes conceitos científicos, como podemos observar na figura 17.

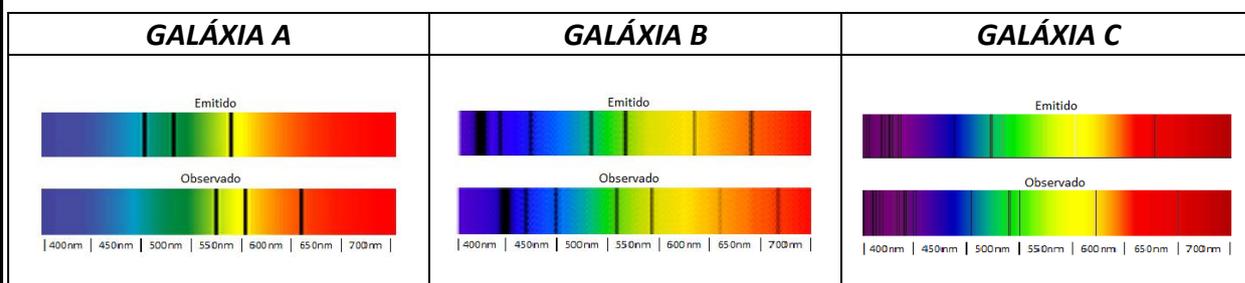
FIGURA 17 - Apresentação do problema da para questão 01 da Atividade Investigativa *Redshift*

- ⇒ Analisem calmamente o problema.
 ⇒ Registre todas as hipóteses levantadas pelo grupo. Escreva todos os argumentos, possíveis soluções, bem como resultados esperados pelo grupo.

Questão 1

Nos anos 20, Edwin Hubble conseguiu estimar as distâncias da galáxia de Andrômeda e outras galáxias, observando o brilho aparente e os períodos de pulsação de certo tipo de estrelas nessas galáxias. Ao fotografar os espectros de várias galáxias, usando o telescópio de 2,50 m de Monte Wilson e comparar as distâncias das galáxias com as suas velocidades de afastamento, determinadas a partir dos seus *redshifts*, verificou que as galáxias mais distantes estavam se afastando com velocidades maiores.

Nas figuras abaixo apresentamos espectros de absorção de três estrelas que pertencem, respectivamente, às galáxias A, B e C.



Com base no que foi discutido nas últimas aulas e analisando os desvios das linhas espectrais nas figuras acima, expliquem, em um breve texto, como os cientistas poderiam ter chegado à conclusão de que o Universo está em expansão.

Para esta questão consideramos corretas as respostas apresentadas pelos grupos que apresentaram articulação de maneira sistematizada dos conceitos co-subordinados na construção de suas respostas, argumentando o deslocamento das linhas espectrais para a faixa do vermelho, correlacionando analogamente tal deslocamento ao efeito Doppler, e conseqüentemente à variação na frequência do espectro emitido com o afastamento das galáxias na estruturação do conceito superior associado à expansão do Universo.

Na tabela 05, apresentada a seguir, apresentamos os dados da classificação das respostas apresentadas pelos grupos para solução do problema proposto na questão 1 desta atividade.

TABELA 05 – Classificação para a solução apresentada na questão 1 da atividade de Problema Aberto *Redshift*

SOLUÇÃO DO PROBLEMA DA QUESTÃO 01: ATIVIDADE DE PROBLEMA ABERTO – REDSHIFT																								
Turmas	2V1				2V2					2V3					2V4					2V5				
Grupos	G101	G102	G103	G104	G201	G202	G203	G204	G205	G301	G302	G303	G304	G305	G401	G402	G403	G404	G405	G501	G502	G503	G504	G505
Categoria	P	P	P	P	P	P	P	C	C	P	P	C	P	P	P	C	C	P	I	P	P	P	P	C

Transcritas a seguir, podemos observar algumas das conclusões apresentadas pelos grupos que foram classificadas em nossas análises com um alto nível de generalização na estruturação de sua resposta, sendo categorizadas como *corretas*.

“Os cientistas chegaram a essa conclusão ao analisarem o **espectro de uma estrela** no telescópio, e repetindo seu espectro em laboratório. Mas ao compararem os espectros descobriram que o espectro observado tinha suas **linhas espectrais** mais aproximadas do vermelho e observando que o **efeito Doppler** (se o objeto que se aproxima emite uma onda, esta onda é comprimida e tem sua frequência aumentada, ocorre o contrário se o emissor se distancia) se aplicava, perceberam que a **estrela em questão e sua galáxia estavam se afastando**. Concluíram então que o universo estava em **expansão** (após outras observações) seguindo o efeito Redshift (desvio das linhas espectrais de uma onda luminosa devido ao afastamento progressivo da distância entre observador e emissor).” (Conclusão do grupo G402).

“Segundo o espectro produzido em laboratório, a frequência do azul é maior que a vermelho, e foi notado que as **linhas pretas** que representam o **espectro emitido pelas galáxias** estão se aproximando do vermelho, onde a **frequência é menor** e a **distância é maior**. Edwin Hubble usou o **efeito Doppler**, que é usado para o som e adaptou para a luz, concluindo que a se a linha se aproxima do vermelho, portanto, a frequência da luz diminui e a distância da galáxia aumenta, provando assim que o **Universo está em expansão**.” (Conclusão do grupo G303).

Nas respostas apresentadas pelos grupos os alunos iniciam a sistematização dos conceitos co-subordinados estruturantes para explicação científica à problemática proposta inicialmente, apresentando os conceitos relacionados ao espectro, às linhas espectrais, frequência de onda, distanciamento das galáxias, efeito Doppler em direcionamento ao caminho percorrido por Hubble, para formar assim a conceituação da expansão do Universo. Em uma análise mais próxima dos processos mediacionais estabelecidos entre alunos a professora e eu, observamos também a apropriação das palavras utilizadas em sala de aula durante as aulas expositivo dialogadas, mostrando que ao se apropriar das palavras alheias – no

caso da professora – os alunos dentro do contexto escolar também estabelecem diferentes formas de enxergar os fenômenos ligados à ciência, desenvolvendo assim seu conhecimento acerca dos conceitos científicos.

Os grupos que tiveram suas conclusões classificadas como *parcialmente corretas* foram aqueles que as respostas eram apresentadas com nível intermediário de generalizações e, em sua maioria, visivelmente carregavam concepções espontâneas. Mesmo associando o desvio das linhas espectrais para o vermelho com o afastamento das galáxias, os grupos não estruturaram de modo a evidenciar o entendimento da relação entre a variação na frequência do espectro emitido/observado e o efeito Doppler na conclusão. A resposta apresentada pelo grupo G204 incorpora em sua sistematização os conceitos co-subordinados associados aos conceitos espectro, frequência, galáxias se distanciando e efeito Doppler, entretanto a articulação desses conceitos na construção da conclusão é feita parcialmente, pois os alunos não fundamentam a relação da frequência da luz emitida estar diminuindo com o efeito Doppler aplicado à luz e o distanciamento das galáxias na justificativa para as conclusões científicas acerca da expansão do Universo.

“Concluimos que a tendência dos **espectros observados** é de deslocamento para o vermelho, ou seja, a **frequência da luz emitida está diminuindo** – muito bem explicado pelo **efeito Doppler**. Portanto, essas **galáxias estão se distanciando**. E vemos isso uma vez que se elas estivessem paradas seu espectro emitido seria igual ao observado.”
(Conclusão do grupo G204).

Apenas o grupo G405, da turma 2V4, teve sua conclusão para a problemática dessa questão classificada como *incorreta* por apresentarem um baixo nível de generalização na estruturação de sua resposta ao reproduzir basicamente elementos apresentados no enunciado, além de utilizar conceitos equivocados e não fazer referência aos conceitos co-subordinados estruturantes do conceito superior associado à discussão, como: espectro, linhas espectrais, frequência, efeito Doppler da luz, apresentando sua resposta de forma inconsistente, do ponto de vista dos conceitos científicos escolares.

“Com a expansão do Universo, as galáxias estão se distanciando. Os cientistas perceberam que o **brilho das estrelas estava diminuindo** e com isso fizeram cálculos e chegaram a conclusão de que o Universo está se

expandindo e assim as galáxias estariam se **distanciando com suas velocidades de afastamento**" (Conclusão do grupo G405)

A segunda questão, dessa mesma atividade, exigia além da sistematização dos conceitos associados o uso do ferramental matemático relacionado. A figura 18 apresenta a estrutura e enunciados da questão:

FIGURA 18 - Apresentação do problema da para questão 02 da Atividade Investigativa *Redshift*

Questão 2
Utilizando os deslocamentos para o vermelho das linhas espectrais, Hubble, a partir de suas observações, conseguiu estabelecer o *redshift* determinado pela equação abaixo.

$$Z = \frac{\lambda_{OBSERVADO} - \lambda_{EMITIDO}}{\lambda_{EMITIDO}} = \frac{V_e}{C}$$

Esse *redshift* (Z) também determina a relação da velocidade da luz no vácuo (c) com a velocidade de afastamento das galáxias (V_e).

	Galáxia A	Galáxia B	Galáxia C
$\lambda_{EMITIDO}$	$505 \times 10^{-9} \text{ m}$	$530 \times 10^{-9} \text{ m}$	$525 \times 10^{-9} \text{ m}$
$\lambda_{OBSERVADO}$	$575 \times 10^{-9} \text{ m}$	$560 \times 10^{-9} \text{ m}$	$540 \times 10^{-9} \text{ m}$

a) A tabela acima apresenta os comprimentos de onda coletados para as três galáxias apresentadas na questão 1. Na primeira linha encontram-se os comprimentos de onda medidos em laboratório para os elementos que compõem a galáxia. Na segunda linha estão os comprimentos de onda coletados a partir dos espectros de luz das galáxias observados com telescópios. Seguindo o exemplo de Hubble, como você calcularia o redshift e a velocidade de afastamento de cada galáxia citada anteriormente? Se julgar necessário use $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

b) Por meio de suas observações e investigações, Hubble também relacionou a distância de uma galáxia e sua velocidade de afastamento em relação a um observador, chegando a uma constante (H_0) que recebeu seu nome. Com base nas investigações feitas por vocês nesta atividade, como vocês encontrariam a distância entre as galáxias A, B e C e o nosso ponto de observação?

$$V(t) = H_0(t) \cdot d(t)$$

O valor mais atual para a constante de Hubble é $H_0 = 7,2 \times 10^4 \text{ m/s/Mpc}$.

c) A partir da análise dos resultados encontrados nos itens a) e b) é possível estabelecer uma relação entre a velocidade de afastamento e a distância das galáxias? Após uma discussão entre os integrantes do grupo, escrevam a que conclusão vocês chegaram.

Os itens a) e b) da questão forneciam elementos para que os alunos, em grupo, tivessem subsídios para estruturas a resposta do problema apresentado no item c). Para resolução da problemática proposta se fazia necessário o entendimento da proporcionalidade existente entre a velocidade de afastamento das galáxias e a distância existente entre elas, e assim os alunos deveriam correlacionar a Lei de Hubble à expansão do Universo, a partir do estabelecimento dos *Redshift*

relacionados aos comprimentos de onda fornecidos. Na tabela 06 a seguir é possível observar os dados da classificação das respostas apresentadas pelos estudantes para solução do item c) do problema proposto na questões 2, no qual os alunos deveriam redigir suas conclusões baseadas no desenvolvimento dos itens a) e b):

TABELA 06 - Classificação para a conclusão apresentada para o item c. na questão 2 da atividade de Problema Aberto *Redshift*

SOLUÇÃO DO PROBLEMA DA QUESTÃO 02: ATIVIDADE DE PROBLEMA ABERTO – REDSHIFT																								
Turmas	2V1				2V2					2V3					2V4					2V5				
Grupos	G101	G102	G103	G104	G201	G202	G203	G204	G205	G301	G302	G303	G304	G305	G401	G402	G403	G404	G405	G501	G502	G503	G504	G505
Categoria	P	I	C	C	P	C	C	P	C	C	C	I	C	C	C	C	C	I	C	x	I	x	C	x

Em nossas análises, consideramos como *incorretas* as soluções apresentadas com pouca argumentação e falta de articulação com os conceitos e resultados sistematizados nos itens anteriores. Dessa forma as conclusões apresentadas pelos grupos foram assim categorizadas por evidenciar um baixo nível de generalização na articulação dos conceitos de velocidade de afastamento e o distanciamento das galáxias a partir da lei de Hubble, apresentando indícios da falta de entendimento da relação e importância de tais conceitos para a construção da conclusão do problema pelo grupo. Na turma 2V5, como é possível observar na tabela 06, três dos cinco grupos não apresentaram a conclusão para a questão 02. Mesmo com meu auxílio e empenho da professora em mediar a construção das respostas, os alunos não se sentiram estimulados a finalizar a atividade.

Entretanto, em uma visão mais ampla da atividade, dentro da perspectiva do ensino por investigação, podemos considerar que houve um bom desempenho por parte dos estudantes ao executar essa tarefa, uma vez que 71% dos grupos concluiu a atividade tendo suas soluções classificadas como *corretas*. Tal classificação foi feita a partir da coerência estabelecida entre resultados encontrados nos itens a) e b), e a sua utilização na argumentação e a articulação dos conceitos associados para construção da conclusão redigida pelos grupos, como é possível observar nas respostas para o item c) apresentadas por alguns dos grupos, que foram selecionadas aleatoriamente e transcritas abaixo.

“Sim. Podemos concluir a partir dos resultados encontrados em nossos cálculos que se obtemos a **velocidade de afastamento por meio do redshift podemos estimar a distância das galáxias**. E quanto maior for a velocidade, maior será a distância entre as galáxias.” (Conclusão do grupo G504).

“**Concluimos que quanto maior a distância de uma galáxia a outra, maior a velocidade de distanciamento**. Por exemplo, em nossos cálculos a galáxia A tem velocidade de $0,42 \times 10^8$ m/s estando a uma distância de $0,06 \times 10^4$ Mpc, enquanto a galáxia C possui velocidade de $0,09 \times 10^8$ m/s estando a uma distância de $0,0125 \times 10^4$ Mpc, ou seja, quanto maior sua distância, maior será sua velocidade de afastamento.” (Conclusão do grupo G203).

Devido à necessidade de maior mediação no decorrer desta atividade em todos os grupos, ficou clara a resistência dos alunos à escrita e interpretação matemática dos fenômenos. No âmbito escolar, o desenvolvimento de atividades como essa evidencia a relevância da mediação no processo de ensino e aprendizagem e a importância do papel do professor dentro dessa perspectiva, pois considerando a qualidade do processo ele tem a importante tarefa de auxiliar os estudantes na construção do conhecimento de forma sistematizada.

4.1.2.3 A Atividade Investigativa *Big Bang*

Na terceira atividade investigativa, a Questão Aberta intitulada *Big Bang*, um texto contendo algumas informações acerca dos primórdios da Evolução do Universo foi fornecido aos alunos, como apresentado na figura 19. Nessa atividade, que se caracterizou por uma Questão Aberta, com base no texto fornecido na questão e nas aulas ministradas os estudantes deveriam, a partir do problema proposto, refletir e debater com o grupo os conceitos relacionados à possível origem e formação de tudo que existe no Cosmos, correlacionando o modelo cosmológico do *Big Bang*, sem a interação e manipulação de qualquer aparato experimental ou utilização de ferramental matemático.

Mesmo exigindo somente o trabalho mental e argumentativo foi admirável o envolvimento dos alunos e a curiosidade acerca do tema durante o desenvolvimento desta atividade. Acredito que a familiaridade com a expressão *Big Bang* – que é a mais utilizada para fazer menção ao modelo que descreve o início do Universo – tenha estimulado a vontade dos alunos pelo entendimento dos processos

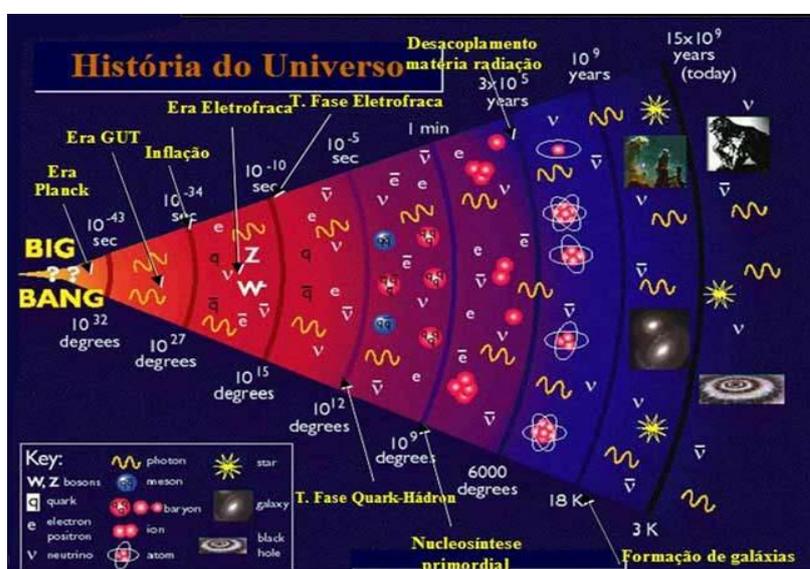
decorrentes da formação do Universo e de outros conceitos que a ele estavam associados.

FIGURA 19 - Apresentação da Atividade Investigativa de Questão Aberta *Big Bang*

- ⇒ Analisem calmamente o problema.
- ⇒ Escreva todos os argumentos, e as possíveis soluções discutidas pelo grupo.

Questão 1

A teoria do *Big Bang* - que descreve os primeiros momentos do Universo - presume que o Universo iniciou a partir de um estado extremamente quente e denso, em que toda a matéria e toda a radiação estavam contidas num espaço infinitamente pequeno. A rápida expansão que iniciou o surgimento do universo lembra muito uma explosão, mas na verdade não foi uma explosão que ocorreu em um ponto do espaço, e sim a geração de espaço em todos os pontos, que se expandem com o tempo.



Fonte: http://www.das.inpe.br/ciaa/cd/HTML/cosmologia/7_2.htm. Acessado em 19/11/2014.

Antes mesmo do primeiro segundo após o Big Bang, a temperatura estava extremamente alta, por volta de 100 trilhões de Kelvins, e como a temperatura é a medida da energia média das partículas, e esta é proporcional à matéria do Universo, de uma forma simplificada, ao dobrar o tamanho do Universo, sua temperatura média caiu pela metade. Isto é, com a expansão, o Universo foi se resfriando tornando possível a união das partículas e a formação dos primeiros átomos.

A formação do universo, como o conhecemos, passou por várias Eras e até que fosse possível se formar o primeiro átomo, passaram-se aproximadamente 300 mil anos após o Big Bang. A partir desse momento houve primeiramente a formação de estrelas (200 milhões de anos após o Big Bang) para depois se formarem as primeiras galáxias (500 milhões de anos após o Big Bang). O Sistema Solar teve início 8,7 bilhões de anos após o Big Bang e o planeta Terra logo depois, 9,2 bilhões após o Big Bang.

Como vocês explicariam, tomando como base o que aprendemos nas últimas aulas, o enorme tempo que foi necessário para a formação do primeiro átomo, e a partir deste, a formação de tudo que compõe o Universo? Faça um breve texto expondo as ideias do grupo a respeito desse tema.

A classificação das respostas apresentadas pelos grupos para solução da problemática proposta seguiu os mesmos parâmetros de classificação quanto aos

níveis de generalização apresentados na sistematização dos conceitos para elaboração da resposta ao problema, utilizados nas atividades investigativas anteriores.

Em nossas análises, as soluções classificadas como *corretas* foram aquelas em que os estudantes, apresentaram articulação dos conceitos co-subordinados ao associar a expansão do Universo e o longo tempo necessário para seu resfriamento, que conseqüentemente possibilitou a formação e união das partículas elementares, que posteriormente constituiriam os átomos e elementos que hoje conhecemos.

Na tabela 07, apresentamos os dados gerais de classificação para as respostas dos alunos ao problema dessa atividade, dentre das categorias estabelecidas anteriormente:

TABELA 07 - Classificação para as soluções apresentadas na atividade de Questão Aberta *Big Bang*

SOLUÇÃO DO PROBLEMA: ATIVIDADE DE QUESTÃO ABERTA – <i>BIG BANG</i>																								
Turmas	2V1				2V2					2V3					2V4					2V5				
Grupos	G101	G102	G103	G104	G201	G202	G203	G204	G205	G301	G302	G303	G304	G305	G401	G402	G403	G404	G405	G501	G502	G503	G504	G505
Categoria	P	P	P	I	P	P	P	P	P	C	P	C	C	C	P	C	C	C	P	C	P	C	C	C

A seguir apresentamos a conclusão do grupo G402, da turma 2V4, classificada como *correta* que em sua redação estruturou de forma articulada e sistematizada não somente elementos associados ao texto da fornecido na atividade, mas também conceitos científicos debatidos nas aulas durante o desenvolvimento da intervenção, de forma lógica e coerente.

“Após o Big Bang, havia apenas **radiação**, e conforme o Universo se expandia a **energia térmica** foi se dissipando (cada vez que o Universo dobrava de tamanho a energia térmica diminuía pela metade), **partículas elementares** foram se formando. Se formaram **bósons, elétrons, pósitrons e neutrinos**. Com o decréscimo energético, **quarks** se formaram e a partir da união deles (união dos mesmos quarks Up e Down) se formaram **os prótons e nêutrons**. E com uma dissipação ainda maior de energia (Universo continua se expandindo) se formaram átomos simples, de **hidrogênio** e a partir dos átomos de hidrogênio, todos os elementos se formaram. **Ainda hoje o Universo se expande aceleradamente**, o que nos leva a procurar o que seriam a **matéria e energia escura** que ainda são desconhecidos.” (Conclusão do grupo G402).

Primeiramente, o grupo apresenta os conceitos co-subordinados estruturantes dentro do processo de formação das partículas elementares, sistematizando os conceitos de radiação, quarks, bósons, elétrons, pósitrons, neutrinos, átomos e hidrogênio, que dentro da história térmica do Universo estruturam a formação dos elementos que o constituem. Em seguida, menciona os conceitos co-subordinados que relacionam a expansão contínua e acelerada do Universo, expondo os conceitos de matéria e energia escuras. Neste grupo, um dos integrantes, o Aluno 408 se mostrou curioso e interessado pelo tema, em todas as aulas trazia questionamentos pertinentes enriquecendo as discussões nas aulas expositivo-dialogadas e nas atividades com o grupo.

Os alunos do grupo demonstram em suas respostas a compreensão do processo de expansão e resfriamento para formação das partículas elementares e sua associação para formação de tudo que existe hoje no *Cosmos*. Ao compreender esse processo, o grupo apresenta em sua resposta para conclusão da problemática inicial conceitos com alto nível de generalização na estrutura sistematicamente articulada para enunciar os conceitos co-subordinados matéria escura e energia escura, ligados – de acordo com as discussões mais atuais na área – ao processo expansão acelerada do Universo.

Ao observar o delineamento da redação explicativa da conclusão apresentada pelo grupo, verificamos indícios de apropriação dos conceitos utilizados pela professora para estabelecer a estrutura explicativa necessária para expor em sala de aula a história térmica do Universo a partir do *Big Bang* durante as aulas expositivo-dialogadas em sala de aula. Fato que evidencia a importância dos processos mediacionais estabelecidos pela professora no desenvolvimento das atividades, possibilitando maior interação e envolvimento dos alunos em seu processo de aprendizagem para que sejam produzidos nessa interação novos sentidos à medida que se apropriam desses novos conceitos.

Já as respostas que foram classificadas como *parcialmente corretas* se restringiram àquelas em que os estudantes articularam as informações de forma coerente, contudo apenas utilizaram elementos fornecidos pelo texto, apresentando a resposta de forma incompleta. Como é possível observar em algumas respostas, transcritas abaixo.

“Após o Big Bang, a **temperatura** estava extremamente **alta**, então, precisava-se que a temperatura diminuísse, que o **universo resfriasse**, e assim os **primeiros átomos surgiram**, 300mil anos após o Big Bang. A partir daí houve a formação das estrelas, 200 milhões de anos após a explosão, depois formaram-se as galáxias, 500 milhões de anos após o Big Bang. O Sistema Solar se iniciou 8,7 bilhões de anos após e o nosso planeta 9,2 bilhões de anos após o Big Bang. **Com a expansão do Universo ele foi se resfriando tornando possível a união das partículas e assim formando tudo que existe hoje.**” (Conclusão do grupo G102)

“O Big Bang foi uma grande expansão que descreve os primeiros momentos do Universo. A **temperatura** estava extremamente alta, então a única coisa que surgiu foi o **fóton**. Com o passar do tempo **o universo foi esfriando e formando novas partículas como bósons, quarks, elétron e muito tempo depois o primeiro átomo, formação de estrelas, as primeiras galáxias**. Isso tudo só foi possível com a queda da temperatura.” (Conclusão do grupo G201)

Nessas respostas é possível observar que os dois grupos apresentam um nível intermediário de generalização dos conceitos subordinados relacionados ao processo de formação do Universo, ao apresentarem uma articulação parcialmente sistematizada na construção de sua conclusão quando utilizam expressões carregadas de conceitos cotidianos e com reprodução dos elementos usados no enunciado da questão.

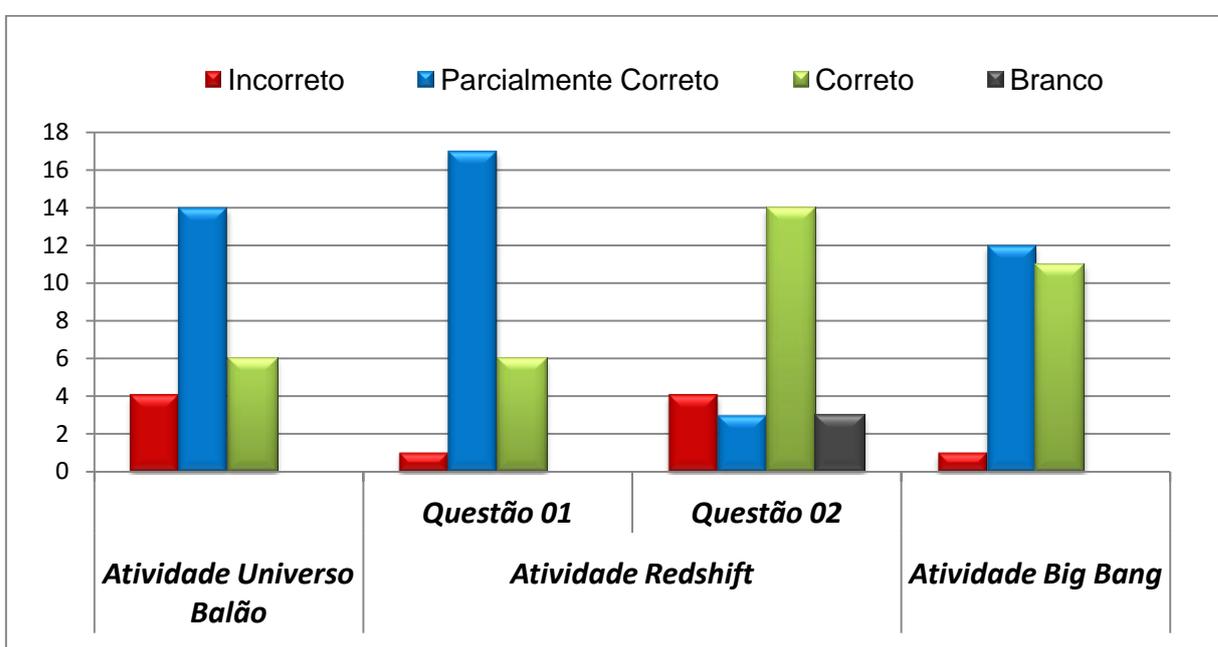
Apenas o grupo G104, da turma 2V1, teve sua resposta classificada como *incorreta* por apresentar na íntegra a reprodução de elementos do enunciado de forma desarticulada e incoerente, além de trazer conceitos equivocados, do ponto de vista científico escolar.

“Foi necessário o **resfriamento das partículas** para se formar os primeiros átomos, ou seja, precisava que elas **ficassem mais juntas** (aglomeradas), para a formação das primeiras estrelas, galáxias e até mesmo nosso planeta, e para a formação dos elementos citados acima foi necessário um tempo de resfriamento, ou seja, para chegar até onde estamos foi necessário 13,7 bilhões de anos.” (Conclusão do grupo G104)

A resposta foi apresentada de forma confusa, sem correlacionar a expansão do Universo como fator responsável pelo resfriamento, e a motivação da “junção” das partículas. Além de não apresentar e articular os dados fornecidos no texto para justificar as afirmações, o que evidencia o não entendimento da problemática envolvida na atividade, configurando um baixo nível de generalização dos conceitos associados.

Na Figura 20 apresentamos uma visão geral da frequência dos dados obtidos a partir da análise das três atividades propostas. Através do gráfico é possível afirmar que, de uma maneira geral, houve uma relativa diminuição das respostas classificadas como incorretas e um considerável aumento das respostas classificadas como corretas, o que pode evidenciar a produção de novos significados e a evolução na construção do conhecimento conceitual dos estudantes ao longo de toda a intervenção.

FIGURA 20 - Gráfico com visão geral das atividades investigativas segundo análises relacionadas à dimensão conceitual de aprendizagem



Isto posto, consideramos por meio das análises e evidências apresentadas acima, que de uma forma geral houve um bom desempenho dos grupos na resolução das atividades investigativas, no que tange a aprendizagem, apropriação e tomada de consciência dos conceitos científicos envolvidos nas atividades propostas.

4.2 A APRENDIZAGEM SEGUNDO AS DIMENSÕES PROCEDIMENTAL E ATITUDINAL

No corpo dessa seção apresentaremos alguns dos acontecimentos que foram observados no decorrer da intervenção educacional que sustentou a presente pesquisa. Nossa atenção estará voltada para as inferências associadas às aprendizagens no que tange aos domínios procedimentais e atitudinais dos estudantes dos grupos investigados, possivelmente potencializadas pelo desenvolvimento das atividades investigativas desenvolvidas em sala de aula.

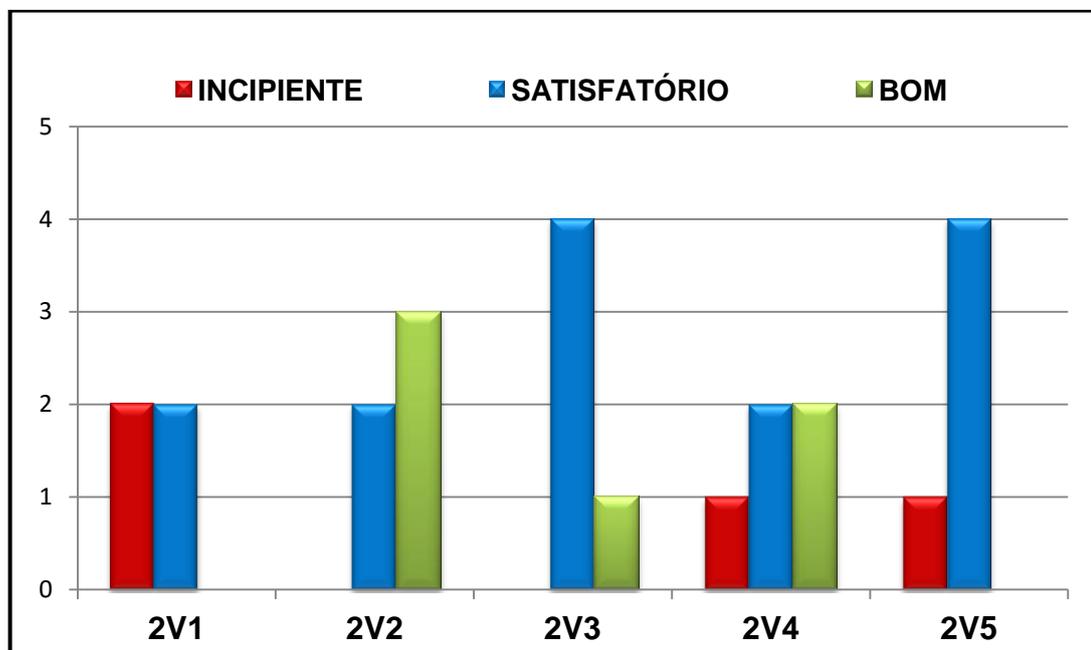
4.2.1 A APRENDIZAGEM DE PROCEDIMENTOS

De acordo com Pozo e Gómez Crespo (2009, p. 47) “[...] o ensino de ciências precisa adotar como um dos seus objetivos prioritários a prática de ajudar os alunos a aprender a fazer ciência, em outras palavras, ensinar alunos procedimentos para as aprendizagens de ciências”, e nesse sentido o ensino por investigação traz em sua essência elementos que reforçam a aprendizagem procedimental ao passo que possibilita ao estudante o enfrentamento de situações nas quais deverá assumir uma postura mais ativa e autônoma na tomada das decisões para uso de seus conhecimentos (POZO; GOMEZ-CRESPO; 2009).

Seguindo-se as orientações da literatura adotada como referência (AZEVEDO, 2004; BORGES, 2002; CARVALHO, 2004), instruímos os alunos ao início da atividade para que, a partir da situação-problema fornecida, eles procedessem à elaboração dos planos de investigação e neles fizessem o levantamento das hipóteses, especificassem quais eram seus objetivos descrevessem a manipulação do material experimental de forma que conseguissem atingir tais objetivos, analisar as informações encontradas e, por fim, solicitamos que escrevessem a conclusão. A partir desses elementos apresentados, os planos dos grupos foram classificados quanto à qualidade em sua elaboração, investigando indícios de aprendizagem procedimental, possivelmente potencializada pela atividade.

Na figura 21 apresentamos o resultado de nossa análise de acordo com a categorização via qualidade dos planos de investigação produzidos pelos grupos, separados por turma.

FIGURA 21 - Gráfico do resultado da análise procedimental via qualidade dos planos de investigação produzidos na a atividade de Laboratório Aberto – Universo Balão



Entre os 24 grupos participantes, apenas quatro tiveram seus planos classificados como incipiente, enquanto 14 apresentaram uma estrutura dentro do sistema de categorização com característica satisfatória. Os seis grupos que foram enquadrados na categoria de plano bom possuíam em sua composição alunos que no decorrer das aulas se mostravam mais interessados e questionadores, além disso, engajaram-se mais na atividade proposta. De acordo com a professora, esses grupos também tinham alunos que já possuíam um bom desempenho na disciplina de Física.

TABELA 08 - Qualidade dos planos de investigação de Atividade de Laboratório Aberto Universo Balão

CATEGORIA	NÚMERO DE GRUPOS
Incipiente	04
Satisfatório	14
Bom	06
TOTAL	24

Os quatro grupos que tiveram seus planos classificados como incipientes eram constituídos em sua maioria por alunos que apresentavam dificuldades de aprendizado na disciplina de Física (de acordo com a professora) e geralmente se mostravam pouco interessados nas aulas. Tal fato pode ter contribuído para o baixo nível de empenho no desenvolvimento da atividade.

De uma forma geral, ao analisar dados exibidos na tabela 08, é possível notar que os grupos apresentaram um resultado razoável em seu desempenho ao realizar a atividade proposta, apresentando aproximadamente 58% das classificações como satisfatório. Nesse sentido, ao considerar tal frequência na ocorrência de uma classificação de qualidade satisfatória na apresentação dos planos de investigação analisados, podemos afirmar, de maneira ampla, que houve sim um significativo desenvolvimento dos conteúdos procedimentais nos alunos dos grupos participantes da atividade.

Orientados pela classificação de conteúdos procedimentais propostas por Pozo e Gómez Crespo (2009) apresentada na subseção 3.4.2 do capítulo anterior, também estabelecemos um sistema categórico para a análise referente à aprendizagem dentro dos domínios procedimentais, conforme quadro 06.

QUADRO 06 - Relação entre os indícios de aprendizagem procedimentais observados e as categorias de aprendizagem de procedimentos sugeridos por Pozo e Gómez Crespo (2009)

Categorias de Aprendizagem		Indícios de aprendizagem observados na atividade
PR_1	Aquisição da informação	Leitura e organização das ideias a partir da situação problema;
PR_2	Interpretação da informação	Estabelecimento dos objetivos da atividade e descrição da execução do experimento;
PR_3.	Análise da informação e realização e inferências	Levantamento das hipóteses e aplicação de modelos explicativos para testá-las;
PR_4.	Compreensão e organização conceitual da informação	Análise das informações obtidas e sistematização de generalizações e realização de inferências no âmbito da investigação;
PR_5.	Comunicação da Informação	Exposição das conclusões e considerações.

De uma maneira mais detalhada, podemos dizer que na busca pela solução da situação-problema proposta inicialmente na atividade os alunos deveriam interagir com o material e com seus colegas de grupo para a obtenção das informações necessárias (PR_1). Na sequência, eles deveriam interpretar as ideias levantadas pelos colegas – ou mesmo a fala do professor em possível mediação – para compreender a proposição da tarefa e assim estabelecer os objetivos da atividade e descrever a execução do aparato experimental (PR_2) e então proceder ao levantamento das hipóteses e aplicação de modelos explicativos para testá-las (PR_3), seguida da análise das informações obtidas e da sistematização de generalizações no âmbito da investigação (PR_4) para, por fim, fazer a exposição das conclusões e considerações (PR_5). Assim, dentro das grandes categorias procedimentais propostas pelos autores, relacionamos os indícios de aprendizagens de procedimentos observados a partir dos planos de investigação produzidos pelos alunos, dentro de cada nível de categorização da qualidade dos planos expostos anteriormente.

Nos planos classificados como *Bons*, observamos que os grupos tiveram, na atividade analisada, todos os procedimentos evidenciados anteriormente potencialmente desenvolvidos, com pouca necessidade de intervenção minha ou da professora.

Apresentamos como exemplo o grupo G404, que durante a realização da primeira parte da atividade interagiu bastante entre si, no intuito de organizar as ideias dos integrantes a partir da leitura do enunciado da atividade e interpretá-lo de modo a estabelecer os objetivos da tarefa, a fim de iniciar a estruturação da descrição de como o material seria manipulado, apresentando um desenvolvimento potencial do domínio procedimental associados às categorias PR_1 e PR_2 (*aquisição e interpretação de informações*).

[...] na turma 2V4 me chamou a atenção o envolvimento dos alunos nas discussões, em especial o grupo 4. Eles discutiram entre si de forma construtiva para o estabelecimento dos objetivos e o levantamento das hipóteses para possível solução do problema, nessa primeira parte da atividade. A forma como esse tipo de atividade estimula o debate e a colaboração entre eles me impressiona. (Diário de Campo – Primeira aula da atividade Universo Balão – 07/11/14)

As discussões iniciais levaram a construções pertinentes para o estabelecimento do objetivo (“representar um modelo para a expansão do Universo através do afastamento dos pontos representativos das galáxias” – fragmento do plano do grupo G404), que conduziram o levantamento das hipóteses e a organização dos modelos explicativos para testá-las através da manipulação do material, apresentando indícios de um bom desenvolvimento procedimental relacionado à categoria PR_3 (*análise da informação e realização e inferências*).

Utilizamos as etiquetas adesivas para representar as galáxias, colando-as no balão e enchendo-o com ar aos poucos. Na medida em que o balão cresce as etiquetas adesivas vão se afastando, o que explica de forma análoga a expansão do universo. Usamos a fita métrica para medir a distância entre uma galáxia e outra, percebendo assim que elas estão de afastando. (Fragmento do plano do grupo G404)

Na segunda parte da atividade, os alunos tiveram contato com o material e puderam colocar as ações planejadas em prática. A interação com o material experimental possibilitou aos integrantes de cada grupo meios de obter informações que subsidiaram a análise e comprovação/refutação das hipóteses lançadas na primeira parte, podendo então debater e construir coletivamente de forma sistematizada uma estrutura de generalizações das informações para construção da solução para o problema e, por fim, elaboração e redação das conclusões e considerações. Dessa forma, os procedimentos associados à categoria PR_4 (*compreensão e organização conceitual da informação*) e PR_5 (Comunicação da Informação) foram visivelmente assimilados pelos estudantes do grupo, e sua aprendizagem potencializada a partir da redação apresentada nos planos de investigação para a conclusão da atividade.

Tomamos uma galáxia como referência para iniciar as medições. Medimos a distância inicial entre uma galáxia e outra. Nomeamos cada galáxia com o nome de cada integrante do grupo. Esperávamos em nossas hipóteses que o afastamento das galáxias fossem proporcionais à distância inicial. Através do nosso experimento não chegamos a conclusão que queríamos, pois o balão não é simétrico e dilata de forma desproporcional. Ao assoprarmos ele enche mais na parte inferior, e também depende muito da maneira que colocamos os adesivos, no caso as galáxias. Esse provavelmente seria o motivo das galáxias terem se afastado de maneira aleatória. (Fragmento do plano do grupo G404)

O desenvolvimento de tais domínios procedimentais foi claramente evidenciado nas ações e na escrita do grupo. Em relação às Categorias PR_4 e PR_5, observamos

um surpreendente desenvolvimento procedimental dos alunos associado à observação da falha apresentada no aparato experimental ao analisar os dados obtidos. Todos os argumentos iniciais e as hipóteses levantadas pelos alunos giravam em torno da existência de proporcionalidade entre a distância inicial e a velocidade de afastamento das galáxias, fato que não pôde ser comprovado no decurso da atividade, porém os possíveis motivos para a não comprovação foram expostos claramente nos planos de investigação produzidos pelos grupos.

De uma maneira geral, nos planos classificados como *Satisfatórios*, que foram a maioria, observamos também o potencial desenvolvimento do domínio procedimental dos estudantes, contudo nesses grupos houve maior necessidade de orientação e mediação na construção dos planos. Mesmo apresentando estruturas coerentes aos procedimentos de elaboração de um plano, as colocações e discussões eram feitas de maneira superficial e, por vezes, repetindo-se elementos do enunciado.

Todos os planos classificados como *Satisfatórios* apresentaram em sua estrutura elementos que evidenciavam a ocorrência de um razoável desenvolvimento dos conteúdos procedimentais associados às cinco categorias de aprendizagem relacionadas acima. Houve interação com o material, com os colegas e com a professora para obtenção e interpretação das informações para construção do objetivo (desenvolvimento de PR_1 e PR_2); as hipóteses foram claramente apresentadas e os procedimentos para testá-la descritos de maneira explicativa (desenvolvimento de PR_3). Após a manipulação do material experimental, as informações obtidas foram apresentadas e analisadas sistematicamente para construção da solução para o problema proposto (Desenvolvimento de PR_4). Por fim, todos eles expuseram na redação da resposta final ao problema suas conclusões e considerações a partir da sistematização das informações obtidas e inferência feitas no decorrer da atividade (desenvolvimento de PR_5).

Já nos planos classificados como *Incipientes*, observamos um baixo desenvolvimento do domínio procedimental nos estudantes, nesses grupos havendo a mediação da professora e minha durante o desenvolvimento da atividade. Os planos de investigação apresentados foram construídos de maneira coerente a um trabalho escolar mas não apresentavam as estruturas necessárias para atender aos

requisitos da atividade. Em alguns deles os objetivos foram estabelecidos de maneira superficial ou mesmo repetindo parte do enunciado na íntegra; e/ou não houve coerência no levantamento das hipóteses e na descrição dos procedimentos experimentais; e/ou não houve argumentação das observações do material experimental; e em alguns casos não apresentaram a conclusão.

Como exemplo, trazemos alguns dos elementos apresentados pelo grupo G405, que teve seu plano classificado como *incipiente*.

[...] Há um grupo na turma 2V4 que me preocupa pela apatia e aparente falta de interesse. Os alunos desse grupo em sua maioria se apresentaram dispersos durante as aulas, se mostraram tímidos e interagiram pouco na aula passada para construção inicial do plano de investigação. Hoje, ao final da aula da segunda parte da atividade o plano ainda não apresenta os elementos estruturais necessários, além de apenas o aluno A417 parecer se preocupar com a manipulação do material para solução do problema. (Diário de Campo – Segunda aula da atividade Universo Balão – 17/11/14)

Durante a primeira parte da atividade, o grupo praticamente não interagiu. Mesmo tentando mediar e estimular o diálogo entre eles apenas, o aluno A417 tentava responder e organizar as ideias para construção do plano. De uma maneira geral, o plano se apresentou desestruturado e sem a organização esperada dentro do domínio procedimental associado às categorias PR_1 e PR_2. Em seu texto, não especificaram claramente o objetivo da atividade e as hipóteses estabelecidas.

Na segunda parte da atividade, o grupo pareceu por vezes desorientado, pois não havia estabelecido as hipóteses e planejado a manipulação do material. Com maior intervenção da professora, o grupo procedeu a realização do experimento, assim foi possível obter alguns dados para organização conceitual das informações encontradas, apresentando alguns procedimentos que trouxeram indícios de um desenvolvimento intermediário relacionado à categoria PR_4. A comunicação das informações obtidas e interpretadas foi feita através da redação da conclusão apresentada pelo grupo na atividade. O texto apresentado evidenciava a compreensão da necessidade dos procedimentos utilizados na manipulação do material, mas não fazia referência a nenhuma hipótese levantada para comprovação/refutação.

Então concluímos que as galáxias que estão na parte inferior da bexiga não tiveram muita diferença na distância, já as que estavam na parte superior,

tiveram o dobro de distanciamento. Então concluímos que para o afastamento das galáxias serem proporcionais o balão deveria ter certa simetria, mas como o balão não tem as galáxias se distanciaram de maneira aleatória. (Fragmento do plano do grupo G405)

Consideramos que houve um razoável desenvolvimento do procedimento relacionado à categoria PR_5, uma vez que o grupo, mesmo não tendo os demais domínios procedimentais desenvolvidos e não tendo associado a relação de expansão do Universo, claramente apresentou suas observações e análises das informações obtidas na resposta final.

4.2.2 A APRENDIZAGEM DE ATITUDES

Como já apresentamos anteriormente, os conteúdos relacionados à dimensão atitudinal envolvem valores, atitudes e normas. Dessa forma, nela estão incluídos conteúdos como a solidariedade, o respeito, o trabalho em equipe, a cooperação, a ética, a tolerância, dentre outros tantos. Nesse sentido, em concordância com Zabala (1998), acreditamos que a aprendizagem dentro dos domínios atitudinais envolve não só o conhecimento, mas também reflexão, análise e avaliação das normas para que haja de fato uma apropriação de tais conteúdos.

[...] a aprendizagem de conteúdos atitudinais supõe um conhecimento e uma reflexão sobre os possíveis modelos, uma análise e uma avaliação das normas, uma apropriação e elaboração do conteúdo, que implica a análise dos fatores positivos e negativos, uma tomada de posição, um envolvimento afetivo e uma revisão e avaliação da própria atuação (ZABALA, 1998, p. 48).

Em uma visão geral, no decurso da implementação da sequência didática, isto é, durante as aulas expositivo-dialogadas e do desenvolvimento das atividades investigativas, foi possível observar uma considerável mudança nas atitudes dos estudantes. A postura apresentada por eles durante a realização das atividades, frente às dificuldades encontradas, fez-se perceber que havia sim indícios de uma mudança positiva em seus comportamentos, o desenvolvimento de uma autonomia ao conduzir a solução de um problema que estavam tendo contato pela primeira vez.

Se durante as aulas os questionamentos eram direcionados à professora e a mim, durante as atividades, eles buscavam primeiro o debate com os colegas do grupo e de outros grupos, desenvolvendo uma confiança nos colegas e nas próprias ideias para as tomadas de decisões para solucionar o problema proposto.

[...] De fato, me surpreende o envolvimento dos estudantes quando a atividade estabelece uma liberdade para que eles construam seu conhecimento de maneira autônoma. Os alunos que apresentavam maior facilidade ao desenvolver a atividade se mostram solidários e preocupados em ajudar os colegas que tem interesse, mas apresentam maior dificuldade. Eles fazem questão de explicar os passos e discutir as ideias. Essa turma (2V1) se mostrou bem apática desde o início da intervenção, mas nessa atividade do Universo Balão todos parecem bem envolvidos. (Diário de Campo – Primeira aula da atividade Universo Balão – 07/11/14)

Essa turma em especial demonstrou grande solidariedade e preocupação com os colegas dos grupos. Os alunos com maior facilidade não buscaram o caminho mais fácil, que seria se encarregar de fazer toda a tarefa pelo grupo. Eles se preocuparam em esclarecer as dúvidas dos colegas com maior dificuldade, ouvir também a opinião deles e construir coletivamente todo o trabalho.

Além de nossas observações que foram registradas no diário de campo, foram apresentadas pelos estudantes como resposta à questão 12 do questionário de opinião o reconhecimento por parte deles da aprendizagem dos conteúdos atitudinais, como podemos observar nas respostas transcritas abaixo¹⁸.

Aprendi a trabalhar em grupo, a escutar a opinião de todos e compreender e saber mais sobre o universo.

Aprendi sobre a formação do universo, como as coisas ocorrem no universo, além de **eu ter aprendido a trabalhar em equipe e respeitar a opinião do outro.**

Ao falar das atitudes que devem ser promovidas entre os estudantes por meio do ensino da ciência, Pozo e Gómez Crespo (2009) chamam atenção para alguns aspectos no que diz respeito à ciência e à aprendizagem da ciência, afirmando que para além da promoção nos estudantes de uma *atitude científica* é de suma importância que o aluno enxergue o saber científico como construção social.

¹⁸ Os questionários não foram identificados para dar ao estudante maior liberdade para expressar sua opinião sem nenhum constrangimento, devido a esse fato a transcrição apresentada não é referenciada.

Comparar a abordagem científica de determinados problemas com outras formas de abordagem pode ajudar a compreender melhor a natureza da ciência como processo e produto social, mas também ajuda a aceitar suas limitações. É importante que um aluno valorize a abordagem científica de um problema e que identifique a diferença entre outros discursos sociais não científicos, [...] mas também é importante que ele não superestime o valor da ciência, compreendendo suas limitações [...] (POZO; GOMÉZ CRESPO, 2009, p.37).

Dessa forma, com base em alguns aspectos relevantes propostos por Pozo e Gómez Crespo (2009) procedemos nossa análise a partir da observação de indícios de apropriação de atitudes pelos alunos, no que diz respeito ao seu posicionamento frente à Ciência e à sua aprendizagem em Ciências, considerando algumas atitudes evidenciadas ao longo do processo, conforme quadro 07 a seguir.

QUADRO 07 - Relação entre possíveis indícios de aprendizagens atitudinais observados e alguns tipos de atitudes a serem promovidas com o ensino da ciência sugeridas por Pozo e Gómez Crespo (2009)

Categorias de aprendizagens		Aprendizagens inferidas ao longo do processo
AT_1	Atitudes com respeito à ciência	Interesse na aprendizagem e posicionamento crítico e investigativo mediante a situação-problema proposta.
AT_2	Atitudes com respeito à aprendizagem da ciência	Trabalho em equipe de forma colaborativa e solidária e a busca pelo diálogo entre os alunos para construção coletiva, bem como o respeito ao próximo.

Observamos evidências de que as atividades de cunho investigativo aparentemente favoreceram o desenvolvimento de atitudes nos alunos. Durante seu desenvolvimento e também na leitura das respostas apresentadas pelos grupos, ficou evidente o desenvolvimento dos domínios atitudinais relacionados a criticidade, cooperação, solidariedade, respeito e trabalho em equipe.

Na atividade investigativa *Universo Balão*, percebemos grande interesse dos estudantes, pois a proposta envolvia a manipulação de materiais experimentais para obtenção de informações a fim de construir a solução para o problema. Nessa atividade, a maior parte dos grupos se envolveu de fato, e a forma como os grupos se organizaram, de colaborativamente para a obtenção das informações, e dialogaram para a interpretação delas, evidenciou o desenvolvimento de atitudes com relação à aprendizagem da ciência (AT_2) nos estudantes da maior parte dos grupos. Eles não deixaram de ressaltar também o desenvolvimento de atitudes com

respeito à ciência (AT_1), ao se mostrarem interessados e críticos diante da proposta investigativa da situação problema da atividade.

Na atividade investigativa *Redshift*, observamos menor interesse e empenho dos alunos.

Hoje a turma 2V3 conclui a segunda parte da atividade *Redshift*. O envolvimento dos alunos nessa segunda parte do desenvolvimento da atividade está bem menor que a atividade Universo Balão. Os alunos parecem cansados, creio que pela proximidade do fim do ano letivo e das avaliações das demais disciplinas. Embora apenas uma média de dois dos cinco integrantes de cada grupo pareçam estar empenhados, as discussões em torno do problema e das informações obtidas por eles estão acontecendo. Os alunos finalizaram a atividade, redigindo suas conclusões, de modo geral estou satisfeita, diante de todos os contratemplos enfrentados. (Diário de Campo – Segunda aula da atividade *Redshift* – 19/11/14).

Nessa atividade de Problema Aberto, observamos que a necessidade da utilização de um ferramental matemático restringiu o envolvimento de poucos alunos em alguns momentos da atividade aos que tinham maior facilidade e conhecimento matemático. A proximidade do fim do ano letivo e a carga de responsabilidades com as avaliações das demais disciplinas certamente têm influência nesse comportamento observado. Entretanto, momentos de diálogos aconteceram, e os alunos se empenharam coletivamente para alcançar a solução para o problema proposto (AT_2). Mesmo diante das dificuldades encontradas, em sua maioria, os alunos não se desestimularam, seguindo até o final da atividade.

Professora! Um exercício desse tipo investigativo estimula o cérebro, o ato de pensar; criatividade; pensamentos diferentes. (Fala de uma aluna do grupo G302 da turma 2V3 durante a primeira aula da atividade *Redshift*)

Já na atividade investigativa *Big Bang*, ficou evidente o interesse dos alunos pelo conteúdo associado ao surgimento do Universo e sua formação. Nessa atividade, de Questão Aberta, a leitura para a obtenção de informações e o diálogo entre os componentes de cada grupo eram peças essenciais para seu desenvolvimento. Na turma 2V2, mesmo com a agitação dos alunos, pois faziam uma prova de matemática na aula seguinte, houve um admirável envolvimento na atividade. O grupo G204 se organizou de modo a proceder às discussões, debateu as informações do texto e os conhecimentos de cada integrante de forma respeitosa e

colaborativa (AT_2). Os alunos levantaram pontos importantes indagando a mim e à professora na busca pela resposta correta, defendendo suas ideias de forma crítica e argumentativa (AT_1).

Nossa! Muito melhor esta atividade mais dinâmica, a gente pode formar grupo onde podemos trocar ideias, podemos errar e depois avaliar nossos erros, ao contrário de uma prova tem de acertar. (Fala de um aluno do grupo G205 da turma 2V2 ao final a atividade Big Bang ao ser questionado sobre o que achou da atividade)

Com o desenvolvimento das atividades investigativas, observamos também que os alunos deixaram um pouco de lado ao longo da intervenção a preocupação em sempre acertar. Essa preocupação está diretamente ligada à cultura estabelecida no ambiente escolar, que gira em torno da obtenção de pontos nas atividades avaliativas, na busca pela desejada aprovação.

“Gostei desse tipo de atividade! A gente tem a oportunidade de errar e poder corrigir, pensar mais e discutir a questão com o grupo e tentar acertar mais uma vez, o que não acontece em uma prova.” (Fala de um aluno do grupo G404 da turma 2V4 ao final a atividade Universo Balão ao ser indagado sobre o que achou da atividade)

No contexto de uma atividade de cunho investigativo, o estudante percebe que toda atividade é passível de erros e que mais importante que acertar é reconhecer o erro e buscar formas de corrigi-lo. No decorrer das atividades, observamos essa mudança na atitude dos estudantes com relação à aceitação da possibilidade de errar e não ser punido por isso, tendo abertura para aprender com os próprios erros.

4.3 A OPINIÃO DOS ESTUDANTES

Tomando a perspectiva de ensino adotada, o Ensino por Investigação, que preza pelo estabelecimento de uma relação mais próxima entre professor e aluno no processo educativo escolar e a participação mais ativa dos estudantes na construção de seu conhecimento, bem como o desenvolvimento de habilidades como reflexão, discussão, explicação e avaliação (AZEVEDO, 2004; CARVALHO, 2004), julgamos pertinente a consideração em nossas análises da opinião dos estudantes, no que tange aos aspectos já apresentados, valorizando-os ainda mais

no processo e inserindo-os em mais esta etapa da pesquisa. Tal iniciativa foi tomada, pois em nossa opinião as considerações acerca da relevância da proposta e de sua efetiva contribuição na aprendizagem de conceitos, procedimentos e atitudes nos estudantes não seriam reais e completas se a avaliação dos estudantes não fosse levada em conta.

Dessa forma, nessa seção, apresentamos alguns resultados de nossas análises feitas a partir das opiniões dos estudantes apresentadas no questionário aplicado ao final da intervenção. Os alunos foram convidados a expor suas opiniões acerca de diversos aspectos da intervenção e da proposta de sequência didática, como: relevância, acolhimento e interesse pelo tema Cosmologia (discutido nas aulas expositivo-dialogadas e nas atividades investigativas); aceitação à perspectiva do ensino por Investigação adotada e do envolvimento e participação dos alunos nas discussões das aulas e das atividades; estrutura organizacional e exposição dos conteúdos na intervenção e, por fim, sua própria aprendizagem dos conceitos relacionados ao tema estudado.

As questões 01 e 10 do questionário tinham o objetivo de captar o sentimento dos estudantes mediante ao tema da unidade de Cosmologia, escolhido para compor a estrutura base da intervenção e discutido em todas as aulas expositivo-dialogadas e nas atividades investigativas. Os resultados das respostas dos estudantes são expressos no quadro 08 a seguir.

QUADRO 08 - Resultados das Questões 01 e 10 do questionário de opinião

Questões	Resultados			
1 - De uma forma geral, você gostou das aulas da Unidade de Cosmologia?	Gostei muito		73 (58%)	
	Gostei		52 (42%)	
	Indiferente		-	
	Não gostei		-	
	Não gostei nem um pouco		-	
10 - Assinale na lista abaixo, palavras ou expressões que melhor representem o seu sentimento pelas aulas e atividades desta unidade de Cosmologia:	curiosidade	100	vontade de saber mais	67
	aborrecimento	2	desinteresse	1
	sonolência	6	útil	44
	interesse	58	diferente	41
	alegria	8	complicada	33

Ao avaliar o quesito aceitação e acolhimento ao tema Cosmologia, adotado no conteúdo das aulas, e sua forma de abordagem, podemos observar a partir dos resultados apresentados no quadro 08 que 100% dos estudantes gostaram, de forma geral, de ter contato com a Cosmologia, destacando-se os sentimentos de curiosidade (80%), interesse (46%) e vontade de saber mais (54%). Mesmo tendo ocorrido respostas alegando sonolência (5%), aborrecimento (1,6%) e desinteresse (0,8%), a incidência de tais respostas é muito pequena quando comparada às manifestações de contentamento com o assunto. Vale ressaltar que todos os 33 alunos que julgaram o tema complicado se manifestaram com vontade de saber mais e também curiosidade.

Chama-nos a atenção, de maneira satisfatória, a escolha predominante de expressões e a manifestação de tais sentimentos, uma vez que em nosso ponto de vista a curiosidade e a vontade de saber mais impulsionam a busca por novos conhecimentos na trajetória escolar dos estudantes, revelando-nos a importância dada pelos alunos à necessidade de maior discussão, em sala com professores, dos temas relacionados ao que ocorre no Universo.

Ainda dentro da proposta de avaliação da temática Cosmologia adotada, o quadro 09 apresenta os resultados provenientes de nossas análises das respostas dos alunos às questões 04 e 07 do questionário. O objetivo dessas questões era captar a percepção dos alunos sobre a função e a importância de se estudar Cosmologia para conhecimento e entendimento do Universo, como um todo.

QUADRO 09 - Resultados das Questões 04 e 07 do questionário de opinião

(continua)

Questões	Resultados	
04 - Após estudar os conteúdos de Cosmologia, você acha que eles são importantes para o seu entendimento sobre o Universo?	Sim, em todas as situações.	65 (52%)
	Na maioria das situações, mas não em todas.	44 (36%)
	Nem sempre.	11 (8%)
	Raramente, mas em algumas situações sim.	5 (4%)
	Não, em nenhuma situação.	-

QUADRO 09 - Resultados das Questões 04 e 07 do questionário de opinião

(conclusão)

Questões	Resultados	
07 - Em sua opinião qual a função de se estudar Cosmologia?	Divulgar as novidades desta área.	27
	Incentivar a aproximação dos estudantes com essa área da ciência.	60
	Apresentar um histórico das mudanças ocorridas nos modelos cosmológicos.	41
	Despertar o interesse dos estudantes do ensino médio para um tema que não faz parte do seu currículo.	40
	Outros. Fale um pouco mais sobre essa(s) outra(s) função(ões)?	4
	1 - Apresentar a Cosmologia a nossa vida e mostrar como é legal estudar sobre o Universo.	
	2 - Mudar o nosso pensamento ignorante sobre a Cosmologia, pois eu pensava que não era importante.	
	3 - Entender o que ocorre no Universo já que vivemos nele.	
4 - Outra função seria a própria aprendizagem sobre a formação do universo e o período, que são grandes curiosidades para mim;		

Todos os estudantes manifestaram a consideração da importância de se estudar conteúdos da cosmologia para seu entendimento do Universo, pelo menos em algumas situações. O fato de aproximadamente 50% dos estudantes terem atribuído a função de se estudar Cosmologia ao incentivo à aproximação dos estudantes com essa área da ciência aparentemente evidencia vontade dos alunos de se envolverem e conhecerem um pouco mais sobre o que ocorre no meio científico relacionado ao estudo do Universo em que vivemos.

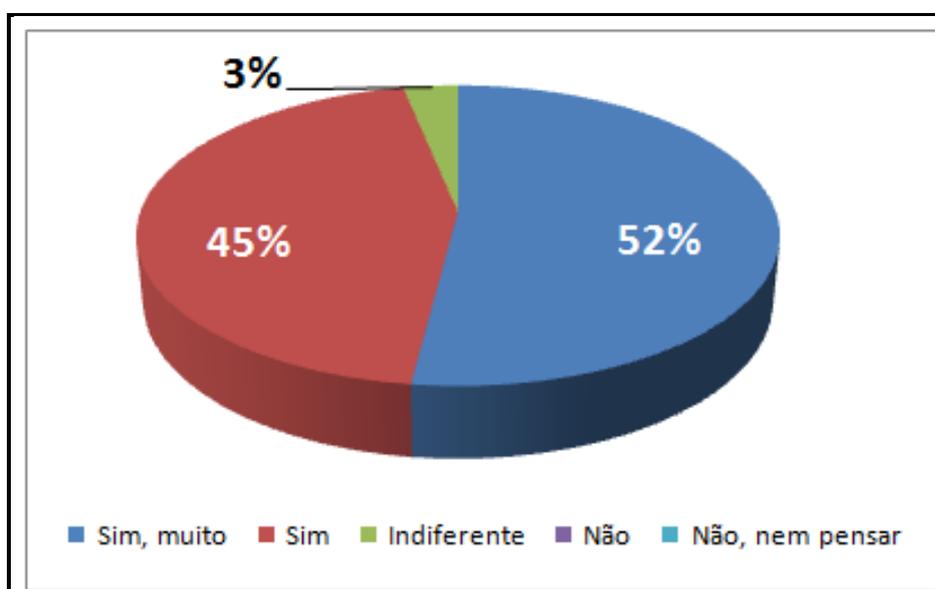
Considerando a possibilidade do despertar do interesse nos estudantes pelo tema e seus conteúdos relacionados, a questão 09 tinha como objetivo conhecer o nível de interesse dos estudantes em cada um dos tópicos da unidade de Cosmologia, abordados nas aulas. Em uma análise geral, observando-se as médias ponderadas atribuídas para a pontuação dada pelos alunos em cada tópico, observamos que a variação nas médias é muito pequena e que, dentre os conteúdos, o que menos despertou o interesse dos alunos foi o relacionado ao *Redshift*, possivelmente devido ao maior formalismo matemático associado a esse tópico, como mostramos no quadro 10.

QUADRO 10 - Resultado da Questão 09 do questionário de opinião

Questão	Nenhum.....Grande Interesse Interesse					MMédia
	1	2	3	4	5	
09 - Marque um X, na nota que expressa o seu interesse em conhecer um pouco mais sobre cada tema abordado na unidade de Cosmologia, de acordo com a gradação:						
Magnitude do Universo	6	8	20	45	46	3,9
<i>Redshift</i>	11	17	22	44	31	3,5
<i>Big Bang</i>	4	6	20	22	73	4,2
Formação e evolução do Universo	4	5	10	23	83	4,4

Na questão 11, os alunos deveriam avaliar a importância da abordagem, em sala de aula, das descobertas científicas realizadas na área, pelo professor, respondendo à pergunta “Você acha importante que seu professor discuta em sala de aula os assuntos relacionados às recentes descobertas realizadas pelos cosmólogos?”. Dos 125 alunos que responderam ao questionário, apenas 3% deles se mostraram indiferentes na consideração da abordagem pelo professor em sala de aula das descobertas atuais realizadas nessa área da Ciência, mostrando em sua maioria a observação da importância da compreensão do que existe e ocorre no Universo. Na figura 22, apresentamos o gráfico com a relação percentual das respostas apresentadas pelos estudantes a essa questão.

FIGURA 22 - Gráfico relativo à ocorrência de respostas na questão 11 do questionário de opinião



Buscamos também conhecer a avaliação dos alunos quanto à perspectiva de ensino adotada em nossa intervenção e às atividades investigativas desenvolvidas, questionando sobre a incidência de abordagem em seu cotidiano escolar, a consideração de validade de sua utilização em sala de aula e sobre a opinião no que tange ao envolvimento e à participação dos alunos nas discussões e nas atividades desenvolvidas nas aulas.

Ao serem questionados, na questão 02, sobre a ocorrência da utilização de atividades investigativas em seu cotidiano escolar, 89% dos estudantes responderam que não. Dos 15 alunos que responderam afirmativamente ao uso desse tipo de atividade, 13 deles (87%) mencionaram sua ocorrência apenas na disciplina de Física, evidenciando a pouca utilização de tal abordagem e perspectiva e ensino em suas aulas.

QUADRO 11 - Resultados das Questões 02 e 03 do questionário de opinião

Questão	Resultados			
02 - Na escola costumam ocorrer aulas e atividades investigativas como as desenvolvidas no decorrer da unidade de Cosmologia?	Sim		Não	
	15 (11%)		110 (89%)	
	Destes, 13 afirmaram ser somente nas aulas de Física			
03 - Você acha válido que os professores adotem esta perspectiva de ensino?	Sim. 125 (100%)		Não. 0	
	Pois,		Pois,	
	permite a construção coletiva do conhecimento, uma vez que existe debate entre os integrantes do grupo para a elaboração de uma conclusão.	78	as atividades demandam de um tempo relativamente grande.	-
	existe a possibilidade de correção de uma hipótese inicialmente errada, então é possível aprender até com os erros.	41	nem todos os participantes do grupo colaboram.	7
nessas atividades a tensão é menor do que em uma prova, então se torna mais interessante realizá-las.	59	como essas atividades são realizadas em grupo acaba havendo um desvio do assunto devido à conversa entre os colegas.	6	

Dado o caráter das atividades investigativas desenvolvidas, por se tratar de atividades em grupos constituídos por poucos integrantes, os estudantes foram incentivados ao diálogo e ao trabalho colaborativo, que favoreceram o desenvolvimento de habilidades como argumentação, discussão e reflexão.

Podemos observar a partir da questão 03 apresentada no quadro 11, que todos os alunos consideraram positiva a adoção da perspectiva do ensino por investigação. Deste público 67% ressaltaram a característica da construção coletiva do conhecimento e 35% deles evidenciaram a possibilidade de reflexão dos possíveis equívocos ocorridos durante esse processo de construção, corroborando com o que afirmamos inicialmente.

Apesar de todos os grupos terem julgado positivamente a validade da adoção dessa perspectiva de ensino, alguns deles manifestaram a observação de alguns pontos que consideraram negativos, pois mesmo estando diante de uma mesma atividade por igual período de tempo, nem todos os alunos se envolvem e colaboram com a mesma intensidade. No entanto, vale ressaltar que apenas 5% deles fizeram tais colocações, que podem também ser observadas no quadro 11. Em contrapartida, através do quadro 12 é possível constatar que, de forma geral, os alunos se reconhecem envolvidos nesse tipo de atividade, uma vez que aproximadamente 76% deles avaliaram o envolvimento dos componentes dos grupos nas atividades como *Bom* ou *Excelente* sendo que apenas dois deles avaliaram como *Ruim* ou *Péssimo*.

QUADRO 12 - Resultado da Questão 06 do questionário de opinião

Questão	Resultados	
06 - Você acha que o envolvimento dos componentes do grupo para realização das atividades foi:	Excelente	23
	Bom	71
	Razoável	29
	Ruim	1
	Péssimo	1

As questões 05 e 08 tinham por objetivo apreciar a opinião dos alunos quanto à estrutura organizacional da sequência didática e quanto a cada uma das atividades investigativas desenvolvidas, respectivamente.

FIGURA 23 - Gráfico relativo às respostas apresentadas na questão 05 para a pergunta: Você acha que a forma de apresentação dos conteúdos foi:

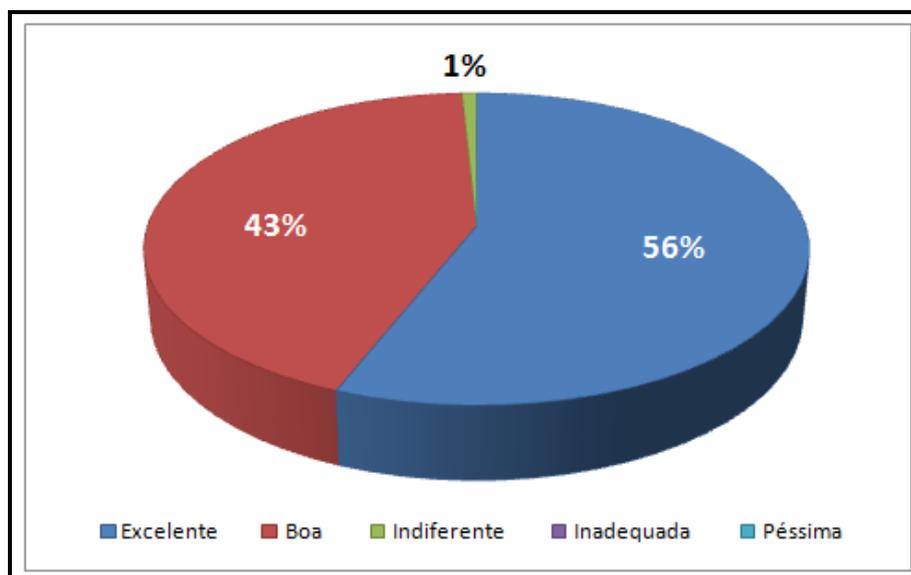


Figura 23 expressa, a partir do gráfico, a opinião dos estudantes apresentada na questão 05 do questionário, relacionada à organização da sequência didática e à perspectiva de ensino utilizada ao questionar os estudantes sobre a forma de apresentação e abordagem dos conteúdos de Cosmologia. A distribuição dos tópicos e a forma de apresentação dos conteúdos de Cosmologia foram bem avaliadas, uma vez que apenas 1% deles manifestou-se indiferente e não emitiram opinião.

Na análise da avaliação feita pelos estudantes para cada uma das atividades desenvolvidas, apresentadas no quadro 13, também utilizamos as médias ponderadas relativas à pontuação atribuída por eles dentro da gradação estabelecida no questionário. Em concordância com o analisado na questão 09, referente ao nível de interesse pelo assunto, também nas atividades investigativas, a que observamos menor média foi a atividade *Redshift*, talvez também esteja associada à necessidade do conhecimento e manipulação de ferramental matemático, exigida por essa atividade de Laboratório Aberto.

QUADRO 13 - Resultado da Questão 08 do questionário de opinião

Questão	Ruim.....Ótimo					MMédia
	1	2	3	4	5	
08 - Marque um X na sua nota de avaliação para cada atividade realizada durante o desenvolvimento da unidade de Cosmologia:						
Representação do Universo	1	3	23	41	57	4,2
Universo balão	0	3	23	33	66	4,3
<i>Redshift</i>	3	10	27	50	35	3,8
<i>Big Bang</i>	1	1	15	31	77	4,5

A atividade *Big Bang* foi a melhor avaliada na opinião dos alunos. Esse fato não nos surpreendeu, pois em nossas análises de desenvolvimento e resultados de tal atividade dentro dos conteúdos de aprendizagem essa foi a que provocou maior envolvimento e interesse por parte dos estudantes.

A questão 12, totalmente aberta, pedia que os alunos se manifestassem quanto à sua aprendizagem. Nela, os alunos poderiam expor alguns exemplos de algo que tivessem aprendido no decorrer das aulas da sequência didática e com as atividades desenvolvidas ao longo da intervenção.

Quanto às características pertencentes ao ensino por investigação e às atividades investigativas, o trabalho em equipe e o respeito à opinião do colega foram mencionados dentro dos conteúdos procedimentais e atitudinais reconhecidos por eles em sua aprendizagem, como já apresentamos na seção anterior.

No que se relaciona à aprendizagem de conceitos, os alunos destacaram alguns exemplos de conteúdos conceituais apropriados no decorrer da intervenção.

Aprendi sobre o **redshift** que não sabia o que era. Sobre a **evolução do universo** saindo das **partículas dos átomos** e indo até o universo dos dias atuais.

Aprendi passo a passo do que houve após o **big bang** e como **o universo está se expandindo**. Também vi novas teorias e descobertas. Fizemos aulas práticas com experiências. Amei.

Aprendi que o **universo está em expansão**, e que **o que chamamos de big bang não é uma explosão e sim diversos fatores que contribuíram para a expansão do universo**, aprendi as fases com que tudo foi se criando e o tempo que foi levando para isso.

Eu aprendi muito sobre o universo em si, as teorias, como tudo começou, aprendi que **o universo se encontra em expansão acelerada**; Agora eu sei um pouco mais sobre **redshift, big bang** . **As aulas investigativas com grupo ajudou a entender e tirar algumas duvidas sobre o mundo.**

Mais uma vez, consideramos o processo de metacognição dentro de nosso estudo, pois entendemos que a construção do conhecimento ocorre de maneira dinâmica e com a participação ativa do aluno, tanto no desenvolvimento de todo o processo até a sua avaliação. Nesse sentido, a aprendizagem numa orientação que considera a metacognição, ou seja, o pensamento sobre os pensamentos e a reflexão sobre as ações, apresenta a nosso ver diversas vantagens relacionadas ao processo de aprendizagem, pois desperta nos alunos a apreciação e o controle de seus processos cognitivos ao desenvolver formas de pensamento que lhes permitem um papel mais ativo na construção de seu conhecimento, além de favorecer o próprio desenvolvimento do aprendiz, uma vez que lhe permite avançar em seus níveis de apropriação (RIBEIRO, 2003).

De uma maneira geral, em nossa análise de tais opiniões, as respostas ao questionário trouxeram indícios de grande aceitação dos conteúdos de Cosmologia, estruturantes da sequência didática, da utilização das atividades investigativas em sala de aula e da adoção da perspectiva do ensino por investigação no processo de ensino e aprendizagem escolar, confirmando nossos pressupostos de relevância de abordagem do tema e da utilização da perspectiva do ensino por investigação, uma vez que praticamente todos os aspectos considerados na proposta de abordagem da pesquisa foram avaliados positivamente pelos estudantes.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nossa pesquisa teve como objetivo geral compreender como uma sequência didática com enfoque no ensino por investigação pode contribuir para a aprendizagem de estudantes do ensino médio de conteúdos de FMC e de tópicos de Cosmologia, no contexto da história da Evolução do Universo, bem como a aprendizagem de procedimentos e atitudes que perpassaram todo o processo de intervenção realizado durante as aulas de Física em cinco turmas de segunda série, de uma escola estadual do município de Vitória-ES, no ano de 2014. Partimos dos pressupostos de que a discussão da temática Cosmologia dentro do contexto da história da Evolução do Universo junto à utilização de instrumentos e abordagens inerentes à prática docente dentro da perspectiva do Ensino por Investigação poderia favorecer a aprendizagem de conceitos, procedimentos e atitudes nos alunos do ensino médio.

A discussão da temática, por si, permitiu a aprendizagem de um conteúdo pouco ensinado nessa etapa da educação dos estudantes. A adoção da perspectiva do ensino por investigação, que preza por um processo educacional mais dinâmico e dialógico entre professores e alunos a partir de uma mediação de qualidade do que é ensinado e aprendido em sala de aula – estendendo-se para além dela –, favoreceu que os estudantes ampliassem seus níveis de generalização dos conceitos científicos escolares abordados pela sequência didática e pelas atividades, bem como possibilitou o desenvolvimento de procedimentos e atitudes com relação à ciência.

A adoção da perspectiva do ensino por investigação como ponto estruturante na elaboração e na condução da sequência didática para a intervenção foi uma tarefa desafiadora. A necessidade de maior preparo para promover uma aula com discussão, debate e argumentação envolvendo os alunos de forma participativa e autônoma, bem como a mediação durante as atividades investigativas realizadas pelos grupos de alunos se revelou uma tarefa nada fácil. Associado ao empenho de cada professor e à vontade de promover um ensino de qualidade da Física no ensino médio, o Ensino por investigação se revela como uma perspectiva verdadeiramente eficiente na busca pela promoção de aprendizagem dentro das três tipologias.

Considerando que os estudantes estão no meio do caminho em sua trajetória de desenvolvimento, devemos levar em conta que a aprendizagem é um processo de mudança – e apropriação – contínua e que somente uma de suas etapas ocorre na educação escolar. Quando falamos da apropriação de conceitos científicos escolares relacionados à temática adotada nos referimos a uma estrutura que requer a sistematização de conceitos co-subordinados, requerendo do estudante um maior grau de abstração em sua formação. Devido a essa complexa estrutura, o papel do professor como mediador é essencial na organização e sistematização desses conceitos co-subordinados em direção à formação do conceito científico escolar dito superior. Dessa maneira, o professor atua conduzindo o aluno em sua forma cotidiana de pensar a ciência e negociando novos significados na formação do conceito científico.

Por meio das categorias de análise estabelecidas anteriormente para a investigação de indícios de aprendizagens, foi possível constatar a evolução na sistematização de conceitos dentro de seus níveis de generalidade na formação de um conceito científico; a aquisição de procedimentos frente a uma situação problemática de Laboratório Aberto e a aquisição de atitudes pelos estudantes, ao se envolverem em seu processo de aprendizagem de forma crítica, organizada, respeitosa e dedicada, o que indica aprendizagem conceitual, procedimental e atitudinal ao longo da intervenção.

Assim, no que diz respeito à aprendizagem de conceitos relacionados à Cosmologia dentro do contexto desta pesquisa, visualizamos, além dos aspectos positivos na evolução conceitual ao longo da intervenção, também alguns desafios para a aprendizagem dos conceitos relacionados. Dentre eles podemos apontar a predominância das concepções espontâneas – cotidianas – no discurso dos estudantes, que por vezes se configuram como um obstáculo que forma lacunas no processo de aprendizagem de um conceito científico escolar, além do curto tempo destinado à aprendizagem no ambiente escolar, fato que dificulta o processo de apropriação de tais conceitos complexos, uma vez que após o contato inicial com o conceito é necessário tempo para que os alunos se apropriem dele. Segundo Vygotsky (2001), a aprendizagem está à frente do desenvolvimento, e o tempo é essencial para o processo de apropriação do conhecimento pelos alunos de forma

progressiva. Tais desafios, em nosso ponto de vista, afirmam-se como fatores contribuintes para a observada não aprendizagem na disciplina de Física.

Ao avaliar a aprendizagem de procedimentos e atitudes, os critérios das categorias estabelecidas possibilitaram a observação da maneira como os estudantes se comportavam frente a uma atividade investigativa e a análise da aprendizagem relacionada ao que “se deve fazer” (procedimentos) e ao que “se deve ser” (atitudes), segundo os preceitos de Zabala (1998) e Pozo e Gómez Crespo (2009).

De forma geral, ao analisar os planos de investigação produzidos pelos grupos de estudantes na atividade investigativa de Laboratório Aberto *Universo Balão*, foi possível notar que os grupos apresentaram um resultado razoável em seu desempenho ao realizar a atividade proposta, considerando-se a qualidade dos planos segundo a categorização estabelecida com base em Ambrósio (2014), apresentando aproximadamente 58% das classificações como satisfatório. Nesse sentido, ao se considerar tal frequência na ocorrência e apoiados nas proposições de Pozo e Gómez Crespo (2009) para o desenvolvimento de domínios procedimentais, constatamos a potencialização e o desenvolvimento de procedimentos como a organização e a interpretação das ideias frente a uma situação problema; a execução de procedimentos; o levantamento das hipóteses e a aplicação de modelos explicativos para testá-las; a análise e sistematização das informações obtidas e a realização de inferências no âmbito da investigação; e a comunicação da informação por meio da redação das conclusões, evidenciando um significativo desenvolvimento dos conteúdos procedimentais nos alunos dos grupos participantes da atividade.

No que se refere à aprendizagem de atitudes, observamos em nossas análises evidências de que ela foi favorecida também pelas atividades de cunho investigativo e pela abordagem adotada nas aulas expositivo-dialogadas. Através da análise de nossos instrumentos de produção/coleta de dados, foi possível analisar a ocorrência de apropriação de atitudes pelos estudantes com *respeito à Ciência e com respeito à sua aprendizagem da Ciência* (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009). Ficou evidente o desenvolvimento dos domínios atitudinais relacionados à criticidade, à cooperação, à solidariedade, ao respeito ao colega e ao trabalho em equipe.

Também buscamos conhecer a opinião dos alunos, por meio de sua avaliação da intervenção ao responder o questionário de opinião proposto. Tal iniciativa teve o intuito de enriquecer nossa análise acerca da relevância de nossa proposta e de sua efetiva contribuição na aprendizagem de conceitos, procedimentos e atitudes nos estudantes. As respostas apresentadas pelos alunos trouxeram indícios de grande aceitação aos conteúdos de Cosmologia e à adoção da perspectiva do ensino por investigação no processo de ensino e aprendizagem escolar. Em suas respostas reconheceram a aprendizagem de conceitos e de atitudes, tais como: o respeito ao colega e trabalho em equipe, confirmando nossos pressupostos de relevância de nossas escolhas.

Outro fato que não podemos deixar de mencionar é que os alunos que participaram dessa pesquisa estavam na segunda série do ensino médio no ano de 2014 e, no final do ano de 2015, ao concluírem o ensino médio, durante o discurso de formatura, a professora de Física foi homenageada mesmo não tendo estado com eles durante a terceira série. Em meio à fala do discurso, os alunos disseram:

“Mesmo ela tendo nos abandonado, nós ainda a amamos, pois dentre tantas coisa que nos ensinou, aprendemos a olhar para o Universo e a gostar das estrelas.” (Transcrição da fala da professora presente na cerimônia de formatura)

Acreditamos que, mesmo que os conceitos e os procedimentos envolvidos na sequencia didática e nas atividades dessa pesquisa não sejam hoje recordados em sua totalidade, a essência da proposta e as atitudes promovidas são algo ainda presente nesses estudantes.

Dadas as nossas observações – e manifestações dos estudantes –, ousamos considerar de grande potencial a adoção da perspectiva do ensino por investigação e a abordagem de tópicos da Cosmologia no ensino da Física para o ensino médio por ampliar a oportunidade de aprendizagem dos estudantes tanto de conceitos, como de procedimentos e atitudes. Foi possível observar um passo dado pelos estudantes para além das fronteiras do ensino tradicional ao qual estão habituados, passando a transitar em uma nova região, onde podem ser mais críticos e ativos no processo de construção de seu conhecimento.

Ao considerar para o processo de intervenção uma abordagem inspirada na pesquisa-ação crítico-colaborativa, foi possível constatar a eficiência de se conduzir

uma pesquisa no âmbito educacional em uma ação de colaboração mútua, ao se buscar meios para uma condução que favorecesse não somente o aprendizado dos estudantes, mas também a reflexão e a compreensão dos fatores que interferem nesse processo. Com relação aos processos de ensino e aprendizagem estabelecidos, acreditamos que a pesquisa nessa perspectiva possibilitou uma reflexão e uma nova forma de visão da prática pedagógica em si e também na forma de abordagem dos conteúdos a serem ensinados e mediados em sala de aula. Também observamos os impactos positivos no processo de aprendizagem dos alunos, possibilitados pela maior interação deles com a professora e comigo em sala de aula, o que os tornou mais autônomos e participativos durante toda a intervenção.

Com base nos relevantes aspectos que uma pesquisa dentro da perspectiva pesquisa-ação crítico-colaborativa traz e que foram evidenciados ao longo da pesquisa, constatamos a importância de se estabelecerem relações de diálogo em sala de aula, de ouvir e considerar as hipóteses levantadas pelos alunos, de se problematizar e estimular o debate (não simplesmente ficar em uma resposta), de se desenvolver de fato um trabalho coletivo e colaborativo. Essa interação mais próxima e dinâmica enriqueceu não só a minha formação profissional durante a pesquisa, mas também da professora de Física regente das turmas estudadas.

Durante os quase dez anos que atuo como professora de Física no ensino médio, pude vivenciar alguns dos inúmeros desafios que são inerentes à profissão de educador, bem como observar o trabalho de alguns professores, refletir e debater com os colegas de área as mais distintas questões que envolvem o ambiente escolar. Entretanto, a experiência vivida durante essa pesquisa foi única e surpreendente: nela pude pela primeira vez desenvolver um trabalho dentro da perspectiva do ensino por investigação e pude enxergar oportunidades em meio aos desafios encontrados.

Um deles foi o de tentar abandonar a abordagem tradicionalista e repensar minha prática em sala de aula, passando à visão do processo de ensino como um momento de diálogo que objetiva conduzir o aluno de maneira mais autônoma na construção de seu conhecimento escolar. Todo processo de mudança é difícil e muitas vezes doloroso. Confesso que em alguns momentos tive dúvidas se seria

realmente possível concluir este trabalho, pela insegurança em adentrar nessa nova perspectiva e pelas dificuldades encontradas, que são comuns em qualquer ambiente escolar – calendário escolar, atividades de outras disciplinas, dispensa de alunos sem comunicação, chuvas de verão que impediam os alunos de chegar à escola, dentre outras.

Nesse momento de conclusão desta dissertação, percebo o quanto aprendi com as valorosas orientações recebidas do Geide, com sua larga experiência nas abordagens dentro da perspectiva do ensino por investigação para construção das atividades, e do Flávio com todo seu conhecimento que auxiliou na construção do material de Cosmologia; e também com o convívio de três meses com a professora e com as turmas pesquisadas. Hoje posso afirmar que cresci muito como profissional da educação e que essa experiência proporcionou a mim de fato uma (trans)formação.

No que tange a abrangência das discussões, é de suma importância que compreendamos que esta dissertação se configura como um recorte de todo o processo, cujo principal objetivo foi a análise acerca das aprendizagens dos estudantes e a relevância da proposta; portanto, representa um fragmento do contexto de toda a intervenção e da realidade pesquisada. Dessa forma, devido ao curto período que é destinado a uma pesquisa de mestrado, ressaltamos como limitações dessa pesquisa, por nela faltarem: as análises e discussões acerca do processo de formação continuada da professora de Física – que se dá nas interfaces da pesquisa-ação crítico-colaborativa – e os processos mediacionais estabelecidos entre a professora e os estudantes em sala de aula no decurso da intervenção educacional realizada.

Nesse sentido, tendo em vista essas questões de importância e relevância ímpar que foram levantadas no decorrer desta investigação, ressaltamos que este estudo não se encerra aqui. Pretendemos dar continuidade com a produção de trabalhos futuros nessa perspectiva, a partir da experiência produzida em conjunto com a professora durante a intervenção e aprofundar nas análises das mediações e da experiência de partilha, por meio da publicação de artigos.

REFERÊNCIAS

AMBRÓZIO, R. **Uma Intervenção Educacional com Enfoque no Ensino por Investigação**: Abordando as Temáticas Termodinâmica e Óptica. 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p.19-33.

BARBIER, R. **A Pesquisa-ação**. Brasília: Plano, 2002.

BORGES, A. T. **Novos rumos para o laboratório escolar de ciências**. Caderno Brasileiro. Ensino de Física. v. 19, n.3: p.291-313, dez., 2002.

BRASIL. **Lei nº 9.394 – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB, de 20 de dezembro de 1996**. Brasília, 1996. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/ldb.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2015.

BRASIL. Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 1998. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 09 jul. de 2015.

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio**: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>> Acesso em: 09 de julho de 2015.

BRASIL. Resolução CNE/CEB 2/2012. Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. **Diário Oficial da União**. Brasília, 31 jan. 2012, Seção 1, p. 20. Disponível em: <http://pactoensinomedio.mec.gov.br/images/pdf/resolucao_ceb_002_30012012.pdf>. Acesso em 01 de julho de 2015.

BRASIL. Secretaria de Educação Básica. **Guia de livros didáticos : PNLD 2015 – física : ensino médio**. Brasília : MEC/CEB, 2014.

CAPECCHI, M. C. V .M. Problematização no ensino de Ciências. In:CARVALHO, A.M.P. Org.) **Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 21-39.

CARVALHO, A. M. P. Critérios estruturantes para o Ensino de Ciências. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p.1 -17.

CARVALHO, A. M. P. As práticas experimentais no ensino de física. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Física**. Coleção Ideias em Ação. São Paulo: Cengage Learning, 2011. p. 53-78.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A.M.P. Org.) **Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 1-20.

CREPALDE, R. S.; AGUIAR JR., O. A formação de conceitos como ascensão do abstrato ao concreto: da energia pensada à energia vivida. **Investigações em Ensino de Ciências**. v.18, n.2, p.299 - 325, 2013. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID332/v18_n2_a2013.pdf>. Acesso em 26 de maio de 2015.

DOMINGUINI, L. Física moderna no ensino médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.34, n.2, 2502. 2012. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/342502.pdf>>. Acesso em: 09 jul. de 2015.

DOMINGUINI, L.; MAXIMIANO, J. R.; CARDOSO, L. **Novas abordagens do conteúdo Física Moderna no ensino médio público do Brasil**. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO DA REGIÃO SUL, 9., 2012, Caxias do Sul. **Anais eletrônicos do IX ANPED SUL**. Disponível em: <http://www.portalanpedsul.com.br/admin/uploads/2012/Ensino_de_Matematica_e_ciencias/Trabalho/12_39_12_653-7149-1-PB.pdf>. Acesso em: 09 jul. de 2015.

DRIVER, R. et al. "**Construindo conhecimento científico na sala de aula**." Revista Química Nova na Escola, 1(9). 31-40, 1999.

JOENK, I. K. Uma Introdução ao Pensamento de Vygotsky. **Linhas**, Florianópolis, v.4, n.4, p. 29-42, 2002

FRANCO, M. A. S. Pedagogia da Pesquisa-Ação. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 483-502, set./dez. 2005

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. **Física e Realidade**. Livro do Professor. São Paulo: Scipione, 2011.

HENRIQUE, A. B. **Discutindo a Natureza da ciência a partir de episódios da História da Cosmologia**. 2011. 261 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

IBIAPINA, I. M. L. M. **Pesquisa Colaborativa: investigação, formação e produção de conhecimentos**. Brasília: Liber Livro Editora, 2008.

JESUS, D. M.; ALMEIDA, M. L.; SOBRINHO, R. C. Pesquisa-ação-crítico-colaborativa: implicações para a formação continuada e a inclusão escolar. **Anais...** Minicurso apresentado na 28ª Reunião Anual da Anped, Caxambu/MG, 2005. Disponível em: <http://28reuniao.anped.org.br/textos/minicursos/denise_meyrelles_jesus.doc> Acesso em: 29 jun de 2015.

KANTOR, C. A. et al. **Quanta física**. Livro do Professor. São Paulo: PD, 2010.

KAZUHITO, Y.; FUKE, L. F. **Física para o Ensino Médio**. São Paulo: Saraiva, 2010.

LIBERALI F. C. **As linguagens das reflexões**. In: MAGALHÃES M. C. C. (org.). A formação do professor como um profissional crítico. Campinas, SP: Mercado de Letras, 2004.

MARTINS, R. A. **O universo**: teorias sobre sua origem e evolução. São Paulo: Ed. Moderna, 1994.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2 ed.(ampliada). São Paulo: EPU, 2011.

MOREIRA, M. A. **Grandes Desafios para o Ensino da Física na Educação Contemporânea**. Palestra proferida na XI Conferencia Interamericana sobre Enseñanza de la Física, Guayaquil, Equador, 2013 Disponível em:< http://www.if.ufrj.br/~pef/aulas_seminarios/seminarios/2014_Moreira_DesafiosEnsinoFisica.pdf> Acesso em: 09 de novembro de 2015.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. H. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências** (Online), Porto Alegre, v. 7, n.3, p. 283-306, 2002.

MUNFORD, D.; LIMA, M. E. C. C. Ensinar ciências por investigação: em que estamos de acordo? **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p. 72-89, 2007.

NEIVA JR., E. **A imagem**. São Paulo: Ática, 1994.

OLIVEIRA, R. C. M. (Entre)Linhas de uma Pesquisa: o Diário de Campo como dispositivo de (in)formação na/da abordagem (Auto)biográfica. **Revista Brasileira de Educação de Jovens e Adultos**, Salvador, v. 2, n. 4, p. 69-87, 2014. Disponível em:< <http://www.revistas.uneb.br/index.php/educajovenseadultos/article/view/1059>> Acesso em: 20 jul. 2015.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.

PEREIRA, A.P.; OSTERMANN, F. Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.

PIETROCOLA, M. et.al. **Física em Contextos**: pessoal, social e histórico. São Paulo: FTD, 2010.

PIMENTA, S. G. Pesquisa-ação Crítico-colaborativa: Construindo seu significado a partir de experiências com a formação docente. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 521-539, set./dez. 2005.

POZO, J. I.; GÓMEZ CRESPO, M. A. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

REZENDE, F.; OSTERMANN, F.; FERRAZ, G. Ensino-aprendizagem de física no nível médio: o estado da arte da produção acadêmica no século XXI. **Revista Brasileira de Ensino de Física** (Online), v. 31, n. 1, p.1402-1 – 1402-8, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n1/v31n1a08.pdf>> Acesso em: 26 de setembro de 2015.

RIBEIRO, C. Metacognição: Um Apoio ao Processo de Aprendizagem. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, 16(1), p. 109-116. 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prc/v16n1/16802.pdf>> Acesso em: 16 jul de 2015.

RODRIGUES, B. A.; BORGES, A. T. **O Ensino de Ciências por Investigação: Reconstrução Histórica**. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2008. Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Curitiba, 2008.

ROSENFELD, R. A Cosmologia. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005.

SÁ, E. F. **Discursos de professores sobre ensino de ciências por investigação**. 2009. 202 f. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós Graduação em Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SANCHES, M. B. **A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Qual a sua presença em sala de aula?** 2006. 112 f. Dissertação (Mestrado em educação para a Ciência e o ensino de matemática) – Programa de Pós Graduação em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

SANT'ANNA, B. et.al. **Conexões com a Física**. São Paulo: Moderna, 2010

SILVA, J. R. N.; ARENGHI, L. E. B.; LINO, A. Porque inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. **R. Bras. de Ensino de C&T**, v. 6, n. 1, jan-abr, 2013.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física da escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.9, n.3, p. 209-214, dez. 1992.

TORRES, C. M.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Física: Ciência e Tecnologia**. Livro do Professor. 2 ed. São Paulo: Moderna, 2010.

TRAZZI, P. S. S. **Ação mediada em aulas de Biologia: um enfoque a partir dos conceitos de fotossíntese e respiração celular**. 2015. 187 f. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós Graduação em Educação, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

VYGOTSKY, L.S. **Pensamento e Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1987.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. 4 ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

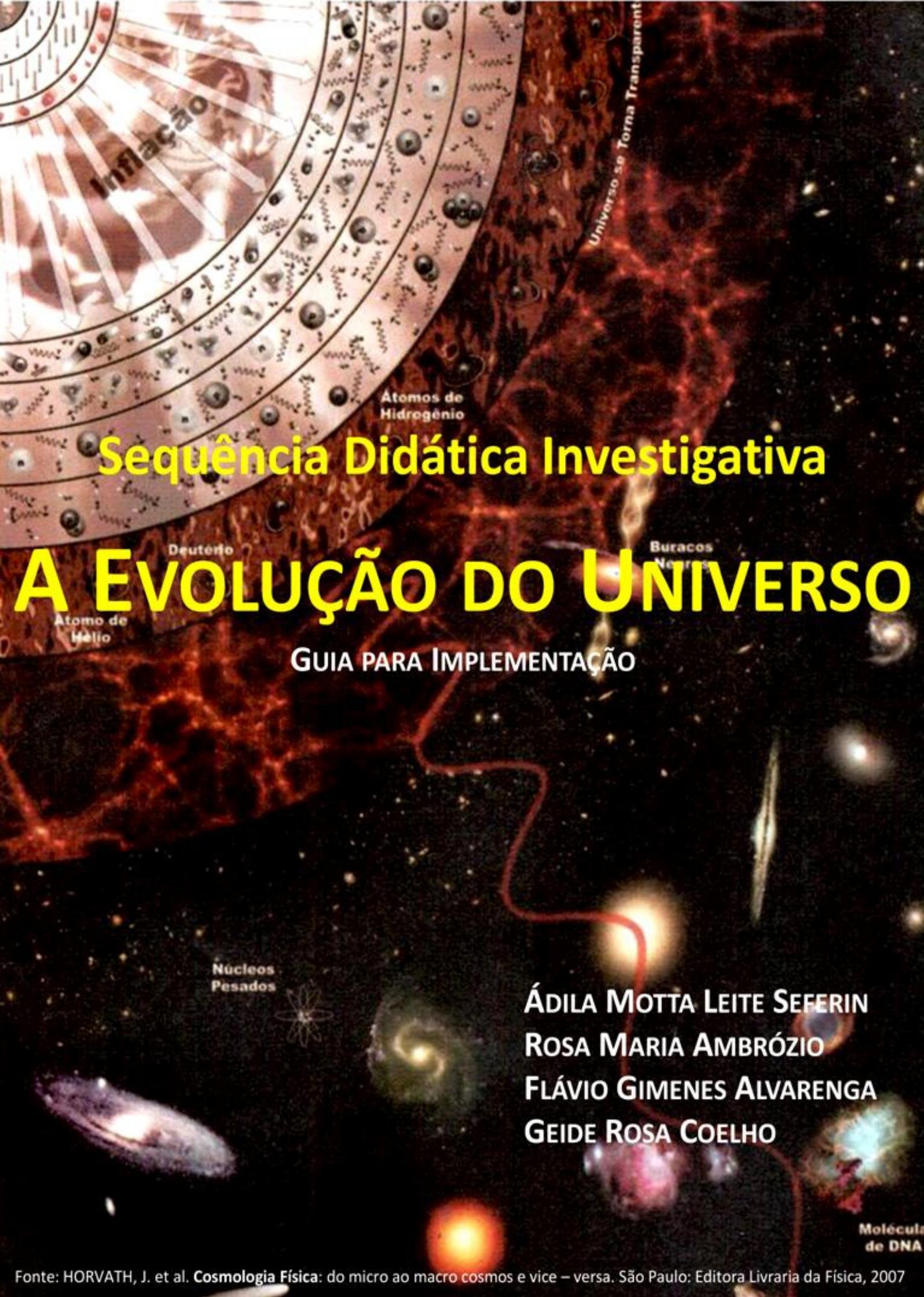
VYGOTSKY, L. S., L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. Tradução Paulo Bezerra. Martins Fontes: São Paulo, 2001.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1998.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. **Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens**, Revista Ensaio, Belo Horizonte, v.13, n.03, p.67-80, set-dez, 2011.

APÊNDICES

A – A SEQUÊNCIA DIDÁTICA - MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR



Universo se Torna Transparente

Sequência Didática Investigativa

A EVOLUÇÃO DO UNIVERSO

GUIA PARA IMPLEMENTAÇÃO

**ÁDILA MOTTA LEITE SEFERIN
ROSA MARIA AMBRÓZIO
FLÁVIO GIMENES ALVARENGA
GEIDE ROSA COELHO**

Olá, caro Professor (a),

O material apresentado neste guia descreve uma proposta de intervenção metodológica representada na forma de uma sequência didática direcionada a alunos do Ensino Médio, a partir do uso de episódios da Evolução do Universo no contexto da Cosmologia, como sugere o tema estruturador dos PCN+ Ensino Médio "Universo, Terra e Vida" (BRASIL, 2002, p.32), produto de uma intervenção educacional desenvolvida em uma Escola Pública Estadual que subsidiou uma pesquisa de mestrado. Nosso objetivo geral buscou debater e compreender questões relacionadas ao ensino e aprendizagens de Física, trazendo elementos que privilegiam as aprendizagens de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais dos estudantes.

Considerando as propostas configuradas nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEMs), fica evidente a relevância de se aproximar o aluno da interação com contextos científico, tecnológico e social promovendo questionamentos críticos e reflexivos, e para isso elaboramos um texto de cunho teórico onde são abordados alguns conceitos e relatos acerca da Evolução do Universo de forma sucinta, com base nos estudos recentes da Cosmologia Moderna. A intenção do texto é fornecer ao professor subsídios para uma melhor compreensão do processo de evolução do Universo, de modo a fomentar as discussões em sala de aula no decorrer do desenvolvimento da sequência didática proposta. Ainda neste guia são propostas três atividades investigativas que abordarão os conceitos da expansão do Universo e a Lei de Hubble, a Espectroscopia associada aos *Redshifts* e a Física das Partículas Elementares que envolvem a formação de estruturas na origem do Universo, a partir do *Big Bang*.

Na Sequência Didática propõe-se que as aulas tenham caráter expositivo – dialogadas e que os alunos sejam estimulados ao questionamento. Seguindo a dinâmica participativa, sugerimos o uso da perspectiva do Ensino por Investigação com enfoque nas atividades investigativas, com a possibilidade de, além da Cosmologia, se discutir tópicos de Física Moderna e Contemporânea. Sugerimos, portanto, a sequência a seguir para desenvolvimento das atividades e utilização do material que apresentaremos a seguir e também será fornecido em um CD com menu interativo em anexo.

ATIVIDADE	Extensão (nº aulas)
Atividade de Concepções Prévias sobre o Universo	1 aula
Socialização das representações feitas na atividade anterior, em grupo	1 aula
Aula expositivo-dialogada: “A cosmologia e o Universo que observamos”	1 aula
Aula expositivo-dialogada: “O Universo em expansão”	1 aula
Atividade Investigativa de Laboratório Aberto: O Universo Balão	2 aulas
Atividade Investigativa de Problema Aberto: <i>Redshift</i>	2 aulas
Aula expositivo-dialogada: “A Origem e criação de tudo”	2 aulas
Atividade Investigativa de Questão Aberta: <i>Big Bang</i>	1 aula
Aula expositivo-dialogada: “A Composição do Universo e seu Futuro”	1 aula
Devolutiva das atividades de concepções prévias para que os alunos façam uma autoavaliação de sua aprendizagem	1 aula
Aplicação de questionário conceitual	1 aula
Aplicação do questionário de Opinião	1 aula

Além disso, propomos que se façam as adaptações necessárias à realidade do ambiente escolar, uma vez que se entende que essa proposta não necessariamente precisa ser utilizada como um roteiro engessado, mas sim de forma maleável.

Boa leitura!

“A Evolução do Universo”

INTRODUÇÃO

No primeiro capítulo, faremos uma discussão breve em torno do que é Cosmologia, diferenciando-a da Astronomia (sugerimos para a aula sobre esse assunto a apresentação do vídeo *The beginning of the universe, for beginners*, da TED-Ed, que apresenta resumidamente o que é e o que estuda a Cosmologia). Faremos também uma abordagem acerca das distâncias astronômicas com a intenção de estimular a curiosidade em torno da magnitude do Universo, o objeto de estudo da Cosmologia (sugerimos a apresentação de um trecho do vídeo *Viagem Cósmica* da IMAX para a abordagem na aula). Ao final falaremos sobre o Universo observável e como tais observações e descobertas foram possíveis a partir dos Observatórios Terrestres e Espaciais.

No segundo capítulo, são apresentados alguns modelos cosmológicos (O Universo Estático e o Universo em Expansão), contudo daremos ênfase ao modelo do Universo em Expansão, chamando a atenção para as descobertas – Lei de Hubble, Efeito Doppler Astronômico e *Redshifts* (desvio para o Vermelho) – que conduziram ao Modelo Cosmológico Padrão aceito atualmente (sugerimos o uso do vídeo *What light can teach us about the universe*, da TED-Ed na aula referente ao assunto). No decorrer do capítulo será aberta a discussão do tópico de Física Moderna e Contemporânea envolvendo a Espectroscopia no contexto dos *Redshifts* de galáxias.

No capítulo três, dentre os diversos modelos de Universo em Expansão, daremos ênfase à teoria do “Big Bang” e ao seu mais forte indício comprovador, a “Radiação Cósmica de Fundo” (sugerimos o vídeo *Big Bang* da série ABC da Astronomia feito pela TV Escola na aula, para uma introdução do tema). Faremos a exposição da “Infância do Universo” em uma cronologia de sua “Linha do tempo Térmica”, chamando atenção para um segundo tópico de Física Moderna e Contemporânea que envolve as Forças Fundamentais e a Física de

Partículas dentro do contexto da origem, das teorias de unificação e da formação de tudo. Ao final, falamos um pouco sobre o acelerador de partículas LHC (Grande Colisor de Hádrons).

Por fim, ao capítulo quatro, falaremos um pouco sobre a estrutura do Universo atual, de sua composição e das várias questões que envolvem a Cosmologia - como a *Matéria Escura* e *Energia Escura* - e os possíveis destinos para o Universo.

CAPÍTULO 1 - “A COSMOLOGIA E O UNIVERSO QUE OBSERVAMOS”

O QUE É COSMOLOGIA?

De uma maneira mais ampla, a Cosmologia poderia ser definida como a união das Ciências com a filosofia, as religiões e as artes, existindo há tanto tempo quanto a própria humanidade. A maioria dos povos já tentou responder o que é o Universo e qual o lugar do homem nele. Ao longo de muitos anos, a Cosmologia esteve relacionada a questionamentos chamados de “perguntas fundamentais”, como: Que tipos de coisas existem no Universo? Ele foi criado por um ser inteligente supremo? Por que existe o Universo? De onde surgiu o Universo? Para onde vai o Universo? Ele vai existir para sempre? São perguntas com certo grau de ousadia, para as quais existe uma gama de possibilidades respostas (HENRIQUE, 2011).

Os debates em torno dessas questões têm permeado a reflexão de muitos estudiosos – cientistas, filósofos, historiadores e teólogos – ao longo dos últimos séculos; e olhando a fundo, é provável que respostas definitivas nunca apareçam. Essa Cosmologia, chamada de “Cosmologia Antiga”, estava mais ligada às religiões e aos mitos. À medida que novas formas de responder às perguntas fundamentais foram surgindo, ela também sofreu grandes transformações. Segundo Martins (1994), um pensamento filosófico que buscou explicar o mundo sem usar mitos existiu há muito tempo em alguns lugares do mundo, propondo novas ideias, mudando ou mesmo abandonando as tradições religiosas, o que trouxe um novo modo de estudar a evolução do Universo junto com o desenvolvimento da Ciência. A partir de então, a Cosmologia se transformou muito e tomou um aspecto “Moderno”, passando aos poucos a ser considerada uma Ciência, com o surgimento de novas teorias físicas e com os avanços nas observações astronômicas proporcionados pelo aperfeiçoamento dos artefatos tecnológicos.

Nesse texto, tomaremos o termo Cosmologia por restritamente seu sentido científico: um ramo da Ciência que se baseia nos modelos físicos e matemáticos para estudar o Universo em grandes escalas, ou seja, o Universo como um todo.

Dessa forma, podemos afirmar, em concordância com Rosenfeld (2005), que a Cosmologia é a Ciência que estuda *estrutura, evolução e composição do Universo*, diferentemente da Astronomia que é voltada para o estudo do funcionamento de pontos específicos, como os corpos celestes – desde cada planeta, meteorito, satélites até uma galáxia inteira – e seus fenômenos associados, ocupando-se da previsibilidade de eventos espaciais.

É evidente que as áreas se comunicam entre si; e tomando por base uma forma “lógica”, se a Cosmologia estuda o “todo” e a Astronomia estuda “coisas” dentro do “todo”, a Astronomia, em nossa perspectiva será tomada como um campo de conhecimento dentro da Cosmologia, conforme esquema da figura 1.



Boa parte dos cientistas faz a mesma consideração. Alguns pesquisadores discordam e contestam tal classificação, afirmando a Cosmologia ser um subcampo da Astronomia, fato este que não causa surpresa, ao se considerar uma área de estudo repleta de divergências e controvérsias.

Da necessidade de se entender e explicar, de forma consistente, as inúmeras e intrigantes questões acerca do Universo – sua “origem”, composição, estrutura, dinâmica e “futuro” –, as teorias cosmológicas modelam o Universo como uma entidade única, com estudos direcionados, quase que classicamente, como qualquer outra área da Física, fazendo uso das grandezas físicas mais conhecidas, como pressão, densidade e energia.

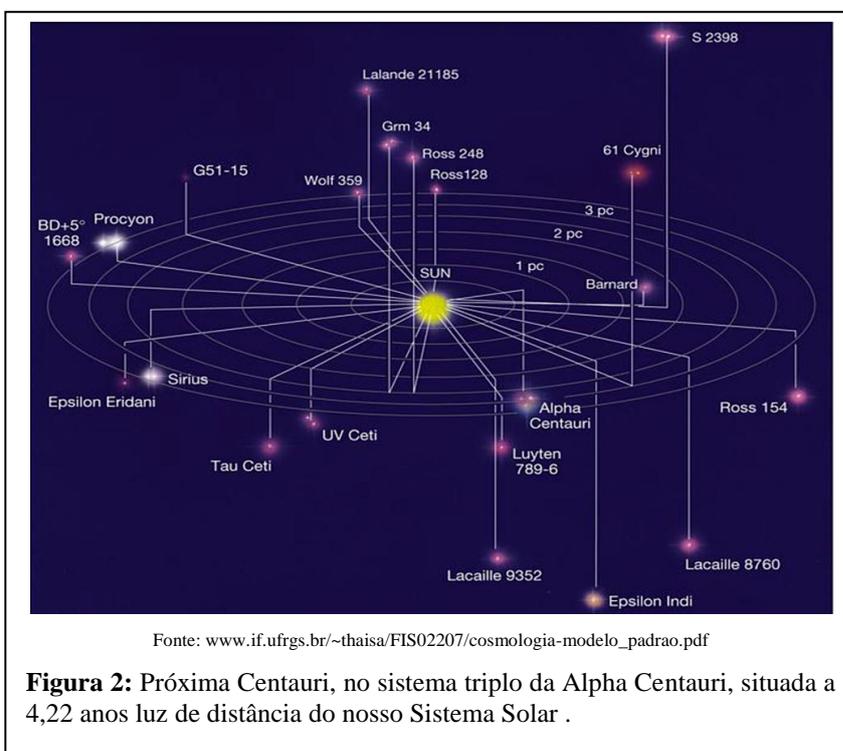
Dessa maneira, neste texto, ao falar de *estrutura* nos referimos à problemática da forma e da organização da matéria no Universo. Por *evolução* tomamos as fases pelas quais o Universo passou e as recentes descobertas; já a respeito de *composição* chamamos atenção para o questionamento: do que é feito o Universo?

O UNIVERSO E SUA MAGNITUDE

Ao olharmos para o céu em uma noite clara e límpida, temos a impressão de que sua profundidade é infinita, como se pudéssemos ver para sempre. A sabedoria convencional diz que o Universo é infinito, mas ele poderia ser finito, dando apenas uma impressão de infinitude, já que o espaço que podemos observar é limitado pela idade do Universo e pela velocidade da luz, que é finita (LUMINET; STARKMAN; WEEKS, J. R).

Mas qual a magnitude do Universo?

Esse questionamento se torna frequente quando pensamos em tudo que pode existir e em qual é nosso papel em meio a essa imensidão de coisas. Para tentar responder de forma simples a essa pergunta, faremos algumas analogias por comparação às escalas conhecidas – e que possam ser de familiaridade dos estudantes. Imagine os aviões-caça, também chamados de supersônicos, que atingem velocidade de aproximadamente 1 km/s, ou seja, conseguem percorrer uma distância de um quilômetro em apenas um segundo. Essa velocidade é três vezes maior do que a velocidade que o som viaja no ar. Suponha agora que esse avião pudesse voar com essa velocidade para fora do nosso Sistema Solar. Se



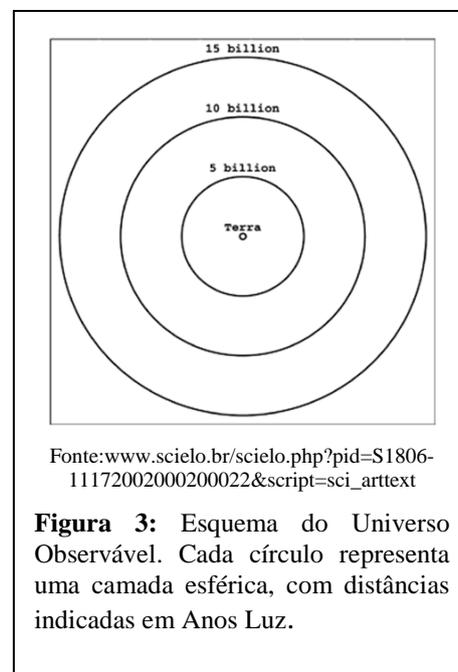
isso fosse possível, ele levaria um milhão de anos para chegar até a estrela que fica mais próxima do Sol, a Próxima Centauri, que está a 4,22 anos-luz (GARLICK, 2002).

Agora, em uma nova analogia, considerando uma escala, vamos supor que a distância Terra-Próxima Centauri fosse reduzida ao comprimento de um grão de arroz. Comparando este comprimento com a distância percorrida em um milhão de anos, a galáxia mais distante de nós estaria do outro lado do planeta Terra. É fato que, para além da escala do nosso sistema solar, existe uma imensidão de galáxias, que por sua vez são compostas de nuvens de poeira e gás, um grande número de nebulosas, estrelas, planetas, cometas e asteróides.

Tomando como base as formas de medidas que usamos em nosso cotidiano, medir o Universo se tornaria uma tarefa praticamente impossível. Para tanto, unidades de medidas especificamente astronômicas como o Parsec e o Ano-luz auxiliam o entendimento desse fascinante objeto de estudo da Ciência. Ao alcance de nossas lentes e tecnologias, contemplamos o que denominamos *Universo Observável* (GARLICK,2002).

O UNIVERSO OBSERVÁVEL

Quem nunca olhou admirado para o céu e se perguntou: “como é o Universo?”; “o que há além daquilo que vemos?”; “do que são feitas as estrelas?”; “como tudo isso foi formado?”. Se procurarmos em qualquer dicionário, a definição de Universo aparecerá de diferentes formas, geralmente fazendo referência a tudo que existe. Contudo, podemos afirmar que o **Universo** é feito de tudo o que conhecemos fisicamente: espaço, tempo, energia e todas as formas de matéria conhecidas pelo homem, incluindo todas as galáxias, estrelas, planetas, até as menores partículas subatômicas.



O estudo do Universo é feito através da luz de estrelas de galáxias distantes. Essa luz, com sua velocidade finita estabelecida, mesmo tendo a ordem de grandeza elevada para os padrões terrestres, leva um tempo considerável para viajar as vastas distâncias dos confins do espaço.

A luz demora cerca de um segundo para percorrer a distância entre a Terra e a Lua, e leva cerca de oito minutos para percorrer a distância entre a Terra e o Sol. A estrela Sirius, a mais brilhante, quando vista no céu noturno do nosso hemisfério, está a 8 anos-luz de distância de nós. Isto significa que quando enxergamos Sirius a vemos como era 8 anos atrás.

Se observarmos uma galáxia que está a 10 milhões de anos-luz de distância de nós, a vemos como ela era há 10 milhões de anos atrás. Ou seja, quanto maior a distância a que olhamos, mais remoto o passado que vemos. A porção do Universo que podemos ver é limitada pela velocidade da luz. Se a idade estimada para o Universo é de aproximadamente 14 bilhões de anos – veremos como se chegou a esse valor no decorrer do texto –, então a luz de galáxias mais distantes do que 14 bilhões de anos-luz ainda não teve tempo de nos alcançar, o que remete-nos sempre aos questionamentos sobre a aparente infinitude do Universo (LUMINET; STARKMAN; WEEKS, J. R).

De acordo com Fagundes (2002), na figura 3, cada círculo representa uma região do *Cosmos* em certa época, tomando a escala atual que considera a expansão do Universo. Observando o círculo mais interno, marcado cinco bilhões de anos-luz na figura, os objetos de estudo, como galáxias e quasares, situados nessa camada, são observados por nós na forma que tinham cinco bilhões de anos atrás. Da mesma forma, o círculo externo representa a parte mais distante, a cerca de 15 bilhões de anos-luz, portanto mais antiga, que pode ser observada através da luz em suas diferentes faixas do espectro eletromagnético (das micro-ondas aos Raios Gama).

TUDO QUE SE VÊ.

A partir do momento em que Galileu, em 1609, apontou pela primeira vez sua luneta pra o céu, o olho humano foi capaz de compreender que há mais da fronteira do que se vê a olho nu. Diante disso, cientistas intensificaram seus estudos e estabeleceram teorias, com base em equações físico-matemáticas, e construíram modelos para descrever a criação e o comportamento do Universo como um todo.

Com o passar do tempo, as descobertas da humanidade aliadas ao desenvolvimento tecnológico levaram o homem a conhecer muito mais do que poderia imaginar. As teorias sobre o Universo aceitas atualmente não poderiam ter sido formuladas ou testadas sem as

informações trazidas por esses instrumentos, resultado do desenvolvimento tecnológico e dos avanços nas pesquisas do último século.

Não há como negar a posição privilegiada em que nos encontramos na atualidade, com a possibilidade de desfrutar de instrumentos de alta precisão – desde os grandes telescópios terrestres dos montes Wilson e Palomar, em Los Angeles nos Estados Unidos, aos telescópios espaciais Hubble, Compton, Chandra e Spitzer e os satélites COBE (Cosmic Background Explorer) e WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) – que nos permitem estudar cientificamente o Universo.

Esses instrumentos de observação nos revelaram o Universo que é invisível para os nossos olhos, mas que resulta de fenômenos de altas energias que ocorrem comumente e que chegam até nós por meio do espectro eletromagnético da luz, em suas mais distintas frequências.

OBSERVATÓRIOS TERRESTRES

Um **observatório** é o local usado para observações e estudos de eventos terrestres e celestes, usado por vários campos da Ciência. Normalmente os observatórios são instalados em locais onde haja baixa umidade do ar e pouca poluição luminosa, que prejudicam a óptica do telescópio. Os locais habitualmente escolhidos para a instalação de observatórios são as montanhas altas.

Localizado no pico do vulcão Mauna Kea, no Havaí, a 4205 metros acima do nível do mar, o **Observatório W. M. Keck** possui um dos equipamentos terrestres mais notáveis para observação nos dias de hoje. O observatório abriga os dois telescópios gêmeos, os **Telescópios Keck I e Keck II**, os maiores telescópios do mundo para observações no óptico e no infravermelho. É um equipamento extraordinário, com espelhos de dez metros de diâmetro. Cada um deles possui a altura de oito andares e um peso de aproximadamente 270 toneladas e uma precisão da ordem do nanômetro. Essa estrutura contou com investimento de aproximadamente 140 milhões de dólares, tendo suas atividades de observações científicas dado início em maio de 1993.

Em solo brasileiro, o maior telescópio é o **Perkin-Elmer**, que entrou em funcionamento em 1981. Está situado no Observatório Pico dos Dias (OPD) no estado de Minas Gerais, mais

precisamente na cidade de Brazópolis. Operado pelo Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), o Telescópio Perkin-Elmer com um espelho primário de 1,6m de diâmetro é utilizado para fotometria, polarimetria e espectroscopia, acompanhando alvos no céu por meio de um programa de computador.

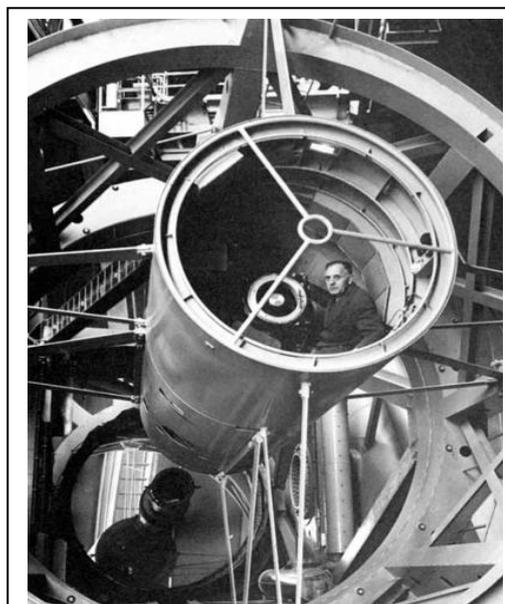
Os dois observatórios abaixo estão entre os que marcaram história por suas grandes descobertas e contribuíram significativamente para os avanços no conhecimento do Universo.

OBSERVATÓRIO DE MONTE WILSON

O Observatório de Monte Wilson é constituído de vários observatórios, contudo dois deles são utilizados apenas para observação solar. O principal e mais importante telescópio encontrado nele, é o **telescópio Hooker**, que foi inaugurado em 1917. Com seu espelho de 2,5m de diâmetro, permaneceu como o maior telescópio refletor até o ano de 1948. Esse observatório foi de fundamental importância para algumas descobertas. Foi utilizado em 1918 por Edwin Hubble para dar início às suas pesquisas que mais tarde o levaram a conclusão de que o Universo estava em expansão.

OBSERVATÓRIO DE MONTE PALOMAR

O observatório Monte Palomar abriga o **Telescópio Hale**, que foi inaugurado em 1949 e roubou do Hooker o posto de maior telescópio refletor existente. Com uma estrutura robusta e um espelho de 5 metros de diâmetro, o Hale é o principal telescópio do observatório. Ele também foi usado por Edwin Hubble em seus estudos. De uma maneira não comum nos dias atuais, para fazer observações com ele era necessário estar literalmente em seu interior, como mostra a figura 4. Atualmente isso não é mais necessário.



Fonte: <http://www.cdcc.sc.usp.br>

Figura 4: Edwin Hubble no interior do telescópio Hale.

OBSERVATÓRIOS ESPACIAIS

Um **observatório espacial**, também chamado de telescópio espacial, é um satélite artificial utilizado para a observação de planetas, estrelas, galáxias ou outros corpos celestes e que funciona de forma semelhante aos telescópios na Terra. Um grande número de telescópios têm sido postos em órbita, fato que propiciou um enorme avanço do conhecimento do *Cosmos*.

Um dos benefícios dos observatórios espaciais é que eles não sofrem a interferência das luzes das cidades, as turbulências térmicas presentes na atmosfera, que conseqüentemente alteram a imagem do telescópio terrestre. A atmosfera terrestre, por ter formato esférico, funciona como uma lente que distorce as imagens afetando a resolução das imagens captadas da Terra. A atmosfera do nosso planeta também absorve uma porção importante do espectro eletromagnético, como os raios infravermelhos e ultravioletas, e devido a isso algumas observações são praticamente impossíveis de serem realizadas. Os observatórios espaciais são classificados em dois tipos distintos: os que têm a missão de inspecionar todo o céu e aqueles que observam uma parte específica do firmamento.

Dentre os grandes observatórios espaciais da NASA podemos destacar: o telescópio espacial *Hubble* que observa o espectro visível, a zona de ultravioleta e o infravermelho próximos; o observatório de Raios Gama *Compton*, que observava principalmente Raios Gama e Raios-X duros¹⁹ (e deixou de operar no ano 2000 quando caiu no oceano pacífico devido a problemas em seu giroscópio); o observatório de Raios-X *Chandra*, que observa principalmente Raios-X moles²⁰ e tem sido utilizado para ver galáxias longínquas; e o telescópio espacial *Spitzer*, que observa o espectro infravermelho.

¹⁹Raios-X cósmicos mais energéticos e que possuem menores comprimentos de onda, variando entre 0,002nm e 1nm.

²⁰ Raios-X cósmicos de baixa energia que têm maior dificuldade de penetração nos corpos. Possuem comprimentos de onda maiores, que variam entre 1nm e 10nm.

TELESCÓPIO ESPACIAL HUBBLE

O Telescópio Espacial Hubble é um satélite artificial não tripulado que transporta um grande telescópio para luz visível e ultravioleta. Ele se tornou um dos projetos científicos mais importantes de todos os tempos, revolucionando os estudos da Cosmologia Moderna com suas fotografias espaciais. Resultado de uma colaboração entre a NASA e a Agência Espacial Europeia (ESA), o Telescópio Espacial Hubble foi lançado no dia 24 de abril de 1990 em uma missão (STS-31) a bordo do “ônibus espacial” Discovery, que o colocou em órbita da Terra em 26 de abril de 1990. Esse fantástico instrumento tem um espelho principal de 2,4 metros de abertura, comprimento de 15,9 metros e diâmetro de 4,2 metros. Orbita a Terra com velocidade de 7,5km/s a uma altitude de 589km.

Os objetivos do Hubble estão centrados em investigar corpos celestes (pelo estudo de suas composições, características físicas e dinâmica), observar a estrutura de estrelas e galáxias (e estudar sua formação e sua evolução), proporcionando à humanidade uma nova visão do Universo, que vai além dos limites da nossa galáxia. Pouco tempo após o lançamento para o espaço, o Hubble apresentou uma aberração esférica no espelho principal que parecia comprometer todas as potencialidades do telescópio. Porém, a situação foi corrigida numa missão especialmente concebida para a reparação do equipamento, em 1993. Esse telescópio ainda recebeu várias visitas espaciais da NASA para a manutenção e a substituição de equipamentos obsoletos ou inoperantes.

TELESCÓPIO ESPACIAL COMPTON

O segundo telescópio do grupo dos Grandes Observatórios Espaciais da NASA foi lançado na missão STS-37, a bordo do ônibus espacial Atlantis, em 5 de abril de 1991 e estava destinado a estudar principalmente as radiações gama dos corpos celestes. O Telescópio Espacial Compton media 9,1 metros por 4,6 metros, pesava cerca de 17 toneladas: foi a carga mais pesada lançada ao espaço pela NASA, pois carregava quatro instrumentos científicos que permitiram cobrir seis décadas de estudos do espectro eletromagnético. Detectou mais de 2.600 explosões de Raios Gama, indicando que esse é um fenômeno que ocorre por todo o Universo. Revelou centenas de fontes desconhecidas de Raios Gama, incluindo 30 objetos

celestes exóticos através de suas imagens e detectou emanações de Raios Gama de buracos negros, de estrelas e do nosso próprio Sol.

Seu nome foi dado em homenagem ao Dr. Arthur Holly Compton, ganhador do Prêmio Nobel de Física em 1927, pelo estudo da dispersão dos fótons de alta energia pelos elétrons, um processo fundamental nas técnicas de detecção dos Raios Gama, que eram usados pelos instrumentos deste telescópio. Infelizmente, devido a problemas com os seus giroscópios, a NASA decidiu fazê-lo reentrar com segurança na atmosfera da Terra, em 4 de junho de 2000.

TELESCÓPIO ESPACIAL CHANDRA

O terceiro telescópio espacial a ser lançado pela NASA, na missão STS-93, a bordo do ônibus espacial Columbia, em 23 de julho de 1999, estava destinado a observar o céu em Raios-X, sendo dotado de uma resolução angular de 0,5 segundos de arco, mil vezes mais acurado do que o primeiro telescópio orbital de Raios-X. Esse observatório espacial foi assim chamado em honra do físico indiano Subrahmanyan Chandrasekhar.

Um telescópio de Raio-X é muito diferente do telescópio óptico comum, por causa da alta energia que os fótons de Raio-X carregam. Seu sistema consiste em quatro pares dos espelhos e da sua estrutura de sustentação. Os fótons penetram no espelho, e, por causa da inclinação do espelho em relação aos fótons, os fótons ricocheteiam quando impactam contra o espelho. Os espelhos ficam bastante inclinados, e desta forma os Raio-X ricocheteiam para fora dos espelhos. Como a atmosfera da Terra absorve a maior parte dos Raios-X, um telescópio no espaço é essencial para se fazerem boas observações nessa região do espectro.

TELESCÓPIO ESPACIAL SPITZER

O Spitzer é o último dos grandes observatórios espaciais da NASA. Foi lançado ao espaço por um foguete Delta II da Estação da Força Aérea de Cabo Canaveral, Estado da Flórida em 25 de agosto de 2003, e seu destino era a observação do Universo no infravermelho. O telescópio consiste em uma estrutura tubular de 85 cm de diâmetro, que é resfriado criogenicamente. Foi criado para obter informações do espaço a fim de entender as origens do Universo, como as estrelas e as galáxias se formaram. Da mesma forma que acontece com os Raios-X, a

atmosfera da Terra absorve boa parte da radiação infravermelha, assim, um telescópio espacial proporciona uma visão muito mais nítida.

O telescópio especial da NASA Spitzer consiste em uma nova plataforma de exploração do Universo pesquisando pela radiação infravermelha. Os astrônomos procuram por ela, pois trata-se de uma janela que permite observar as partes ocultas do Universo. Auxilia na pesquisa da origem e da composição de planetas distantes pelo infravermelho, podendo revelar a composição desses objetos fora do nosso sistema solar. Spitzer é o maior telescópio infravermelho lançado no espaço.

A radiação cósmica de fundo é um ruído cosmológico que pode ser compreendido como um "fóssil" de uma época em que o Universo era muito jovem. Sua descoberta apresentou uma das principais evidências na confirmação do modelo expansionista do "Big Bang" para a origem e evolução do Universo. O **COBE** e o **WMAP** são sondas espaciais que foram lançadas em missões da NASA com o objetivo de buscar informações mais precisas dos instantes iniciais apresentados por esta radiação na faixa das micro-ondas.

- O **COBE** (*The Cosmic Background Explorer*), lançado em 1989, foi o primeiro satélite construído dedicado à Cosmologia. Seu objetivo era investigar a radiação cósmica de fundo do Universo – remanescente do "Big Bang" – e fornecer medidas que pudessem ajudar na compreensão do *Cosmos*. Em sua estrutura, possui um escudo na forma de cone que tem o objetivo de proteger os instrumentos de possíveis interferências de sinal de micro-ondas a partir da Terra, do Sol e da Lua.
- A **WMAP** (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*), é uma sonda da NASA cuja missão é estudar o espaço profundo e medir as diferenças de temperatura que se observam na radiação cósmica de fundo em micro-ondas, um remanescente do "Big Bang". Foi lançada por um foguete Delta II, em 30 de junho de 2001, de Cabo Canaveral, Flórida, Estados Unidos. O objetivo da missão WMAP é testar as teorias sobre a origem e evolução do Universo. É a sucessora do COBE por oferecer imagens mais nítidas e faz parte do programa de exploradores de classe média da NASA. WMAP foi nomeada assim em honra a David Wilkinson, membro da equipe científica da missão e pioneiro no estudo da radiação de fundo.

Uma grande parte das informações que possuímos atualmente é fornecida por estas duas sondas espaciais, que continuam a busca por desvendar os segredos do Universo.

REFERÊNCIAS

AS dez maiores descobertas do Hubble. Disponível em: <http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/as_10_maiores_descobertas_do_hubble.html>. Acesso em 10/10/2014

DEZ telescópios que mudaram nossa visão sobre o Universo. Disponível em: <http://www2.uol.com.br/sciam/multimedia/dez_telescopios_que_mudaram_nossa_visao_sobre_o_universo.html>. Acesso em 10/10/2014

EXPANSÃO do Universo. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2010/Aula26-32.pdf>> . Acesso em 13/10/14

FAGUNDES, H. V. Modelos Cosmológicos e a Aceleração do Universo. **Revista Brasileira de Ensino Física**, v.24, n.2, 2002 (on-line)

GARLICK, M. **O universo em expansão**: do big bang aos dias de hoje. São Paulo: Publifolha, 2002.

HENRIQUE, A. B. **Discutindo a natureza da ciência a partir de tópicos da história da cosmologia**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

HUBBLE. Disponível em: < <http://www.observatorio.ufmg.br/hubble.htm>>. Acesso em 12/10/14

LUMINET, J. P., STARKMAN, G. D., WEEKS, J. R. O espaço é Finito? **Scientific American Brasil**. Edição Especial, n.27, p.54 – 61.

MARTINS, R. A. **O universo**: teorias sobre sua origem e evolução. São Paulo: Ed. Moderna, 1994.

ROSENFELD, R. A Cosmologia. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005.

Vídeo Sugerido:

The beginning of the universe, for beginners, - **Tom Whyntie**. Disponível em: < <http://ed.ted.com/lessons/the-beginning-of-the-universe-for-beginners-tom-whyntie>>. Acesso em: 09/10/14.

CAPÍTULO 2 - “O UNIVERSO EM EXPANSÃO”

O século XX foi um período abundante em descobertas na área da Cosmologia, marcado por renomados cientistas que a partir de seus estudos e observações trouxeram conceitos que moldaram a nossa concepção atual sobre o Universo. Tal período foi marcado pelas descobertas das galáxias como alicerce das grandes estruturas do *Cosmos* e pela criação de um sistema de classificação de galáxias feito por Edwin Hubble (aceito até hoje) que mostrou que elas estão se afastando umas das outras levando à crença de que o Universo está em expansão.

A necessidade de se compreender esse Universo do qual fazemos parte motivou os estudiosos desse século a buscar explicações fundamentadas cientificamente para explicar de onde viemos e qual será nosso futuro. Dessa forma, saindo do campo das conjecturas, modelos científicos foram construídos para contribuir com o estudo do comportamento *Cosmos*, por meio de analogia entre aquilo que se sabe e aquilo que se quer entender, conhecer, simular e prever. (MORGAN, M. S.; MORRISON, M., 1999)

OS MODELOS COSMOLÓGICOS.

Devido à imensidão de nosso Universo, isso considerando apenas a parte que dele podemos observar, é natural na Cosmologia Moderna que se levantem hipóteses e busquem aproximações, ou seja, pressupostos básicos para construção dos **Modelos Cosmológicos**, aceitos na comunidade científica.

Mas, afinal, o que é um **Modelo Cosmológico**?

Podemos dizer que é um conjunto de conhecimentos, tais como hipóteses, leis e teses, usados para descrição do Universo, desde sua origem, sua evolução e a formação das estruturas observadas no *Cosmos*.

A proposição de modelos cosmológicos é histórica e acompanha a história dos feitos científicos; como notamos nos textos de Aristóteles até o “Princípio Matemático da Filosofia Natural”, escrito por Newton. Estudiosos de diferentes cantos do planeta, do Oriente ao Ocidente, conceberam importantes modelos que serviram de inspiração para ideias que

fundamentaram a construção da velha e da nova Cosmologia. No início do século XX, foram estabelecidas as bases do conceito contemporâneo de Cosmologia, em particular com o desenvolvimento dos modelos cosmológicos já existentes, que consideravam um Universo Estático que não sofria nenhum tipo de evolução.

Damos destaque inicialmente para as proposições de Newton, propositor da ideia de um Universo infinito e de distribuição homogênea, cuja soma das forças gravitacionais sobre cada estrela seria nula, havendo equilíbrio: sendo, esse, portanto, um Universo Estático.

Seguindo esses estudos, Einstein emerge com a proposição da Teoria da Relatividade Geral. Seu trabalho é sobre uma teoria gravitacional para todos os referenciais. Propõe o primeiro modelo cosmológico relativista, em que além de espacialmente homogêneo, isotrópico e finito, o Universo era estático. Contudo, sendo a gravitação atrativa, para que o Universo fosse estático, Einstein modificou suas equações originais introduzindo um termo repulsivo à gravidade, o qual chamou de Constante Cosmológica (Λ) (GARLICK, 2002).

Tais modelos, contudo, apresentavam o infortúnio de serem contraditórios às observações, que indicavam a ocorrência de significativas mudanças nos elementos que constituíam o *Universo Observável*. Logo após a proposição do modelo cosmológico de Einstein em 1917, a partir das equações da Teoria da Relatividade Geral, o matemático russo Alexander Friedmann (1888-1925) investigou suas possíveis soluções, entretanto considerando características de um Universo em expansão, e publicou em artigos científicos entre 1922 e 1924 – uma época em que o modelo de Expansão não era bem visto na comunidade científica – apresentando a existência de diversas possibilidades de Universos em expansão ou contração.

Entretanto, as obras de Friedmann eram matemáticas. Seu interesse estava em explorar as soluções das equações de Einstein sem considerar os aspectos físicos, chegando a considerar em suas soluções densidade de matéria negativa. Seu modelo descrevia um Universo no qual dois pontos estariam se afastando mutuamente, e não o Universo em expansão como um todo (KRAGH, 1996, p. 27).

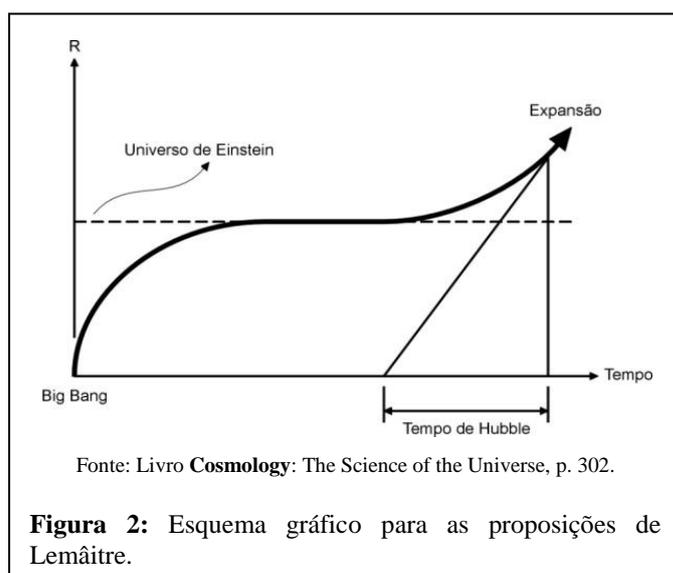
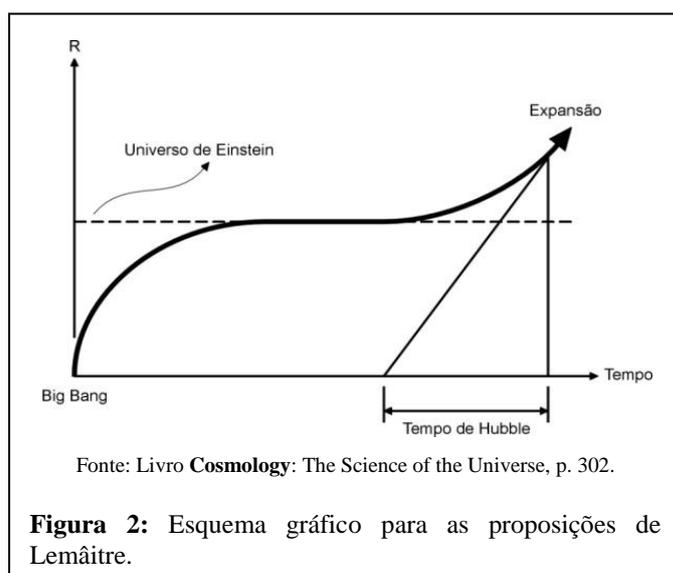
Harrison (1981) afirma que, de acordo com seus modelos propostos para o Universo em expansão, o que determina o “futuro do Universo” é a sua densidade de matéria, podendo ocorrer três tipos distintos de evolução, conforme apresentado na figura 01;

1. Universo *fechado e finito*. Se a densidade for alta, a atração gravitacional é muito forte, assim a expansão chegaria a um ponto máximo e então seria contida e o Universo voltaria a contrair;

2. Universo *marginamente aberto*. O estado intermediário entre esses dois regimes é chamado *Universo crítico*. Ele se expande cada vez mais lentamente, até atingir uma velocidade marginal.

3. Universo é *aberto e infinito*. Se a densidade for baixa, a expansão continua indefinidamente;

Mais tarde, entre 1927 e 1931, o cosmólogo e padre católico Georges Lemaître (1894 - 1966), de forma independente, também publicou, sem ter conhecimento dos resultados de Friedmann, estudos que resultaram em modelos de um Universo em Expansão. No entanto, em seu trabalho havia preocupação com as evidências observacionais, uma vez que sua intenção era explicar o Universo real onde vivemos.



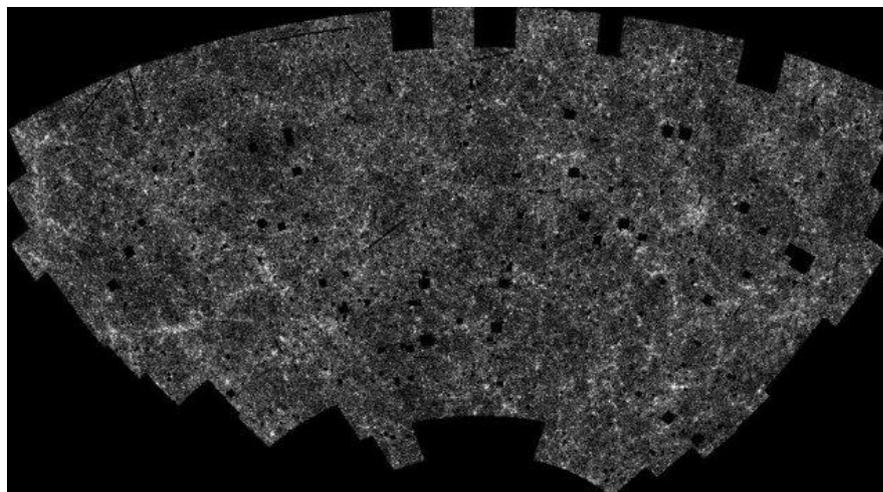
No ano de 1927, Lemaître publicou um modelo cosmológico que correspondia a um Universo estático, semelhante ao de Einstein, que após determinado tempo saía do estado de equilíbrio e passava a se expandir. Tratava-se de um modelo de Universo (que sempre existiu) em expansão, conforme esquema gráfico da figura 2.

Somente no início da década de 1930, esse modelo que ficou conhecido como “o modelo do átomo primordial” passou a ser reconhecido. Nos anos seguintes, esses modelos foram largamente projetados no mundo científico (HARRISON, 1981, p. 301).

Os avanços no estudo da Cosmologia possibilitaram a consolidação do **Modelo Cosmológico Padrão** – o Modelo do *Big Bang* –, que pressupõe a expansão do Universo a partir de uma singularidade e que leva em consideração aspectos de diferentes áreas da Física, como a relatividade geral, a Física atômica, quântica, nuclear, de partículas elementares e da gravitação. Veremos isso um pouco mais adiante, quando discutiremos um pouco mais sobre o *Big Bang*.

Como todo modelo, o **Modelo Cosmológico Padrão** é sustentado por hipóteses e aproximações. Seu pressuposto básico está no chamado **Princípio Cosmológico** que sustenta que, em **grandes escalas**, ou seja, distâncias da ordem de bilhões de anos-luz (cerca de 9,5 trilhões de quilômetros), o Universo é homogêneo e isotrópico. Mas o que isso quer dizer? A homogeneidade do Universo está relacionada à distribuição uniforme da matéria. Portanto, admitindo-se o Princípio Cosmológico, nota-se que o Universo possui a mesma densidade em todo lugar, isto é, devemos encontrar a mesma quantidade de galáxias e aglomerados de galáxias em todas as partes do Universo em grande escala. Por meio de observações astronômicas, com trabalhos de mapeamento de regiões profundas do céu, é possível determinar a distribuição de galáxias confirmando assim a homogeneidade.

A figura a seguir apresenta um mapa montado por computador composto por imagens da distribuição de galáxias numa região centrada no polo sul galáctico.



Fonte: http://www.nature.com/nature/journal/v397/n6716/fig_tab/397225a0_F1.html#figure-title

Figura 3: Imagem obtida pelo APM Galaxy Survey.

Ao se falar de Isotropia, consideramos que o Universo possui a mesma aparência em qualquer direção observada. Isto é, em grandes escalas, as propriedades do Universo são as mesmas em todas as direções, seja pela mesma radiação vinda de todas as partes, bem como na distribuição e quantidade de matéria observada no *Cosmos*. Não podemos afirmar que estamos no centro do Universo ou que ocupamos uma posição privilegiada no *Cosmos*, pois tomando como verdade o Princípio Cosmológico, não há direção nem lugar especial no Universo.

HUBBLE E A EXPANSÃO DO UNIVERSO

Atualmente a concepção mais aceita é a de um Universo que evolui, estando repleto de incontáveis galáxias que se afastam relativamente com velocidades enormes. O conceito de galáxia evoluiu ao longo dos séculos XVII a XX e a partir das observações através dos telescópios foi possível chegar à percepção de que as até então “nebulosas” eram conjuntos de estrelas, e não somente uma nuvem de gás como se acreditava anteriormente. Hoje, uma grande parte dos elementos, que antes eram chamados de nebulosas, são conhecidos como galáxias.

Em 1908, a astrônoma Henrietta Leavitt (1868-1921), do Harvard College Observatory, estudou um determinado grupo de estrelas na “nebulosa” de Magalhães e observou um padrão de flutuação no brilho. Essas estrelas receberam o nome de Cefeidas. No ano de 1912, Henrietta mostrou existir uma correlação entre a luminosidade absoluta emitida por estrelas de variáveis Cefeidas e o período de oscilação da luz advinda delas: quanto maior o período entre dois máximos, maior a luminosidade absoluta. Desse modo, como a intensidade da luz cai com o inverso do quadrado da distância foi possível determinar a distância de uma estrela Cefeida medindo sua luminosidade aparente e estimando sua luminosidade absoluta através da observação do período.

A partir do método de Henrietta e através de imagens obtidas com o telescópio de 2,5 metros de diâmetros do Observatório do Monte Wilson, no ano de 1923, Edwin Powell Hubble (1889 – 1953) descobriu estrelas Cefeidas numa nebulosa inserida na constelação de Andrômeda. Com o cálculo da distância dessas estrelas, pela técnica de Henrietta, Hubble percebeu que tal nebulosa estava além das fronteiras da Via Láctea e concluiu que na verdade tal nebulosa era na verdade uma galáxia espiral, semelhante à nossa, e estimou sua distância em aproximadamente um milhão de anos-luz. Hoje ela é conhecida como Andrômeda (KRAGH,

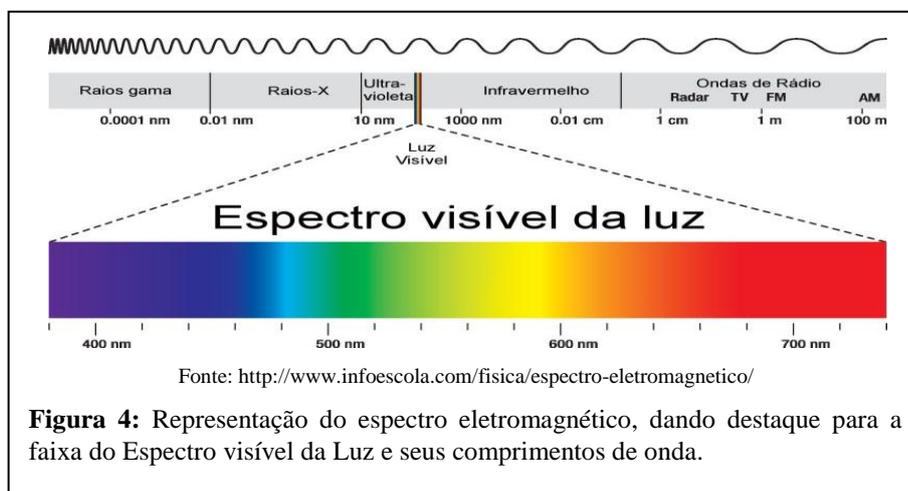
1996, p. 17). Prosseguindo seus estudos, constatou que o mesmo ocorria para outras “nebulosas”, e nos anos que se seguiram, trabalhando no mesmo observatório, Hubble conseguiu fazer medidas de distâncias e do desvio do espectro eletromagnético para a faixa do vermelho, chamado *Redshift*, para corpos mais distantes do que se conseguira até o momento. Todavia, somente no ano de 1929, publicou um trabalho no qual apresentava os dados de medições obtidos de 46 galáxias. (KRAUGH, 1996, p. 18)

A quase totalidade das galáxias em nossa vizinhança, exceto algumas muito próximas que acabam sofrendo ação de nosso campo gravitacional, estariam se afastando. Com esses dados, Hubble estabeleceu uma relação linear entre os *Redshift* das galáxias e a sua distância, que ficou posteriormente conhecida como a Lei de Hubble. Dessa forma, a relação distância e *Redshift* continua nos ajudando a mapear o Universo no espaço e no tempo.

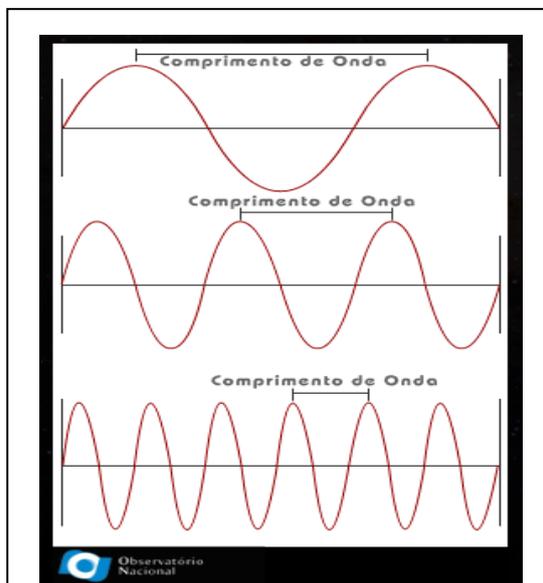
Essa comprovação, a partir de observações astronômicas, anteriormente prevista teoricamente nas soluções apresentadas por Friedmann e Lemaître, veio a constituir o modelo aceito a partir de tais indícios, conhecido na atualidade como “Modelo Cosmológico Padrão”.

A ESPECTROSCOPIA ASTRONÔMICA

Imagens astronômicas são em geral muito belas e nos cativam. Ao olharmos para o céu, avistamos as estrelas através da luz que elas emitem. Tal luz emitida nada mais é do que uma forma de radiação proveniente da energia produzida no seu interior, que se propaga pelo espaço sob a forma de uma **onda eletromagnética**. O **espectro eletromagnético** é o intervalo completo da radiação eletromagnética que vai da região das *ondas de rádio até os Raios Gama*, o que está demonstrado na figura 04.



A maior parte das informações que temos do Universo vem do espectro de luz emitida pelas estruturas que o compõem. Esse espectro de luz chega ao nosso ponto de observação decomposto em diferentes comprimentos de onda.



Fonte: http://www.on.br/ead_2013/site/conteudo/cap10-radiacao/radiacao.html

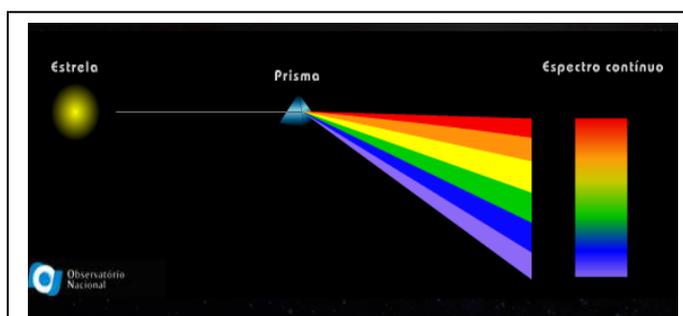
Figura 5: Ilustração de diferentes comprimentos de onda (λ) para diferentes frequências (f).

Para estudar a radiação emitida pelos corpos celestes, é necessário previamente definir algumas grandezas básicas do movimento ondulatório. Para tanto, é necessário recordar que a onda é caracterizada por algumas propriedades que descreveremos abaixo e ilustramos na figura 05:

- Comprimento de onda (λ): distância entre os máximos de uma onda, medido em hertz.
- Frequência (f ou ν): número de máximos da onda que passam por segundo por um determinado ponto, medido em nanômetros (nm) ou Angstroms (Å) ($1\text{nm} = 10\text{Å}$).

Concentrando-nos na faixa visível do espectro eletromagnético, é possível observar que a luz branca ao ser dispersada por um prisma, apresenta as cores do arco-íris. Os cientistas perceberam que se eles fizessem instrumentos mais precisos e sofisticados, os Espectrógrafos, poderiam obter detalhes minuciosos dos espectros e assim obter mais informações os astros, como sua temperatura, composição química e comportamento. Graças a esses equipamentos, foi possível compreender o interior das estrelas e estudar a Física que está ocorrendo nas galáxias mais distantes.

O espectrógrafo é um equipamento cuja finalidade é obter o espectro da radiação incidente e registrá-la sobre placas fotográficas na forma de linhas. Os espectros e suas linhas são classificados como:



Fonte: http://www.on.br/ead_2013/site/conteudo/cap11-espectro/espectro-geral.html

Figura 6: Representação esquemática do espectro contínuo da luz decomposta em diferentes frequências.

- **ESPECTRO CONTÍNUO:**

Como vemos na figura 6, neste tipo de espectro é possível observar um verdadeiro "arco-íris", um conjunto completo de cores sem qualquer linha espectral traçada sobre ele.

- **ESPECTRO DE EMISSÃO:**

Este tipo de espectro é produzido quando o feixe de luz branca atravessa um gás transparente e quente. E de forma semelhante ao representado na figura 7, após a ionização dos átomos do gás, ocorre a emissão de fótons, e assim uma série de **linhas espectrais** brilhantes são traçadas contra o fundo escuro, de modo a caracterizar os elementos químicos presentes no gás.

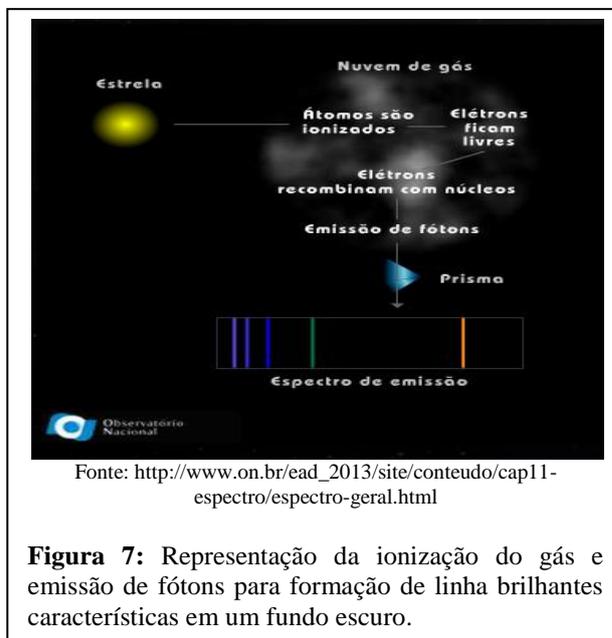


Figura 7: Representação da ionização do gás e emissão de fótons para formação de linha brilhantes características em um fundo escuro.

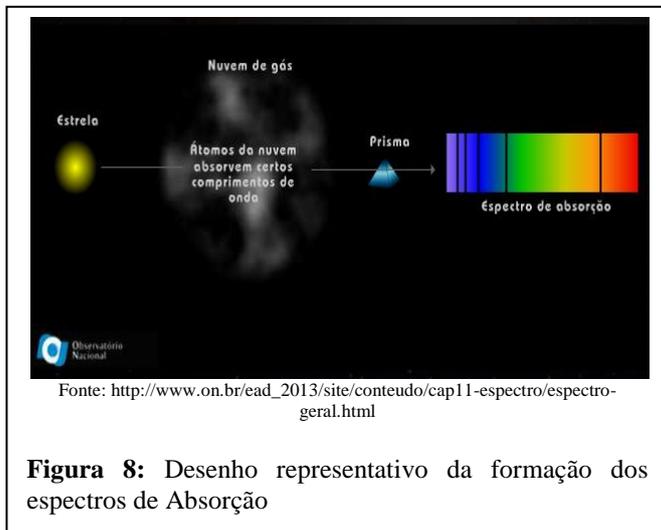


Figura 8: Desenho representativo da formação dos espectros de Absorção

- **ESPECTRO DE ABSORÇÃO:**

Este é produzido se um **espectro contínuo atravessar um gás** a baixa temperatura. O gás mais frio provoca o aparecimento de uma série de **linhas escuras** traçadas entre as cores do espectro contínuo. O número e a posição das linhas no espectro de absorção também dependem dos elementos químicos presentes no gás.

Tudo que se tem de informação sobre o que, além de nós, existe no Universo vem dessas imagens e de suas linhas. É a temperatura relativa entre a nuvem de gás e o seu fundo que determina qual o espectro que é observado. As linhas de absorção são vistas se o fundo é mais quente do que o gás; já as linhas de emissão são vistas se o fundo é mais frio do que o gás. Como o interior das estrelas é mais quente que sua superfície, os espectros mais estudados são os de absorção.

EFEITO DOPPLER, REDSHIFT E LEI DE HUBBLE

Os espectros de galáxias não se diferenciam de um todo dos estelares, uma vez que a maior parte da luz – na faixa visível – provenientes dela advém de suas estrelas componentes. A apresentação de linhas espectrais por tais galáxias, em sua maioria de absorção, é de suma importância, uma vez que através dela é possível identificar elementos químicos que as caracterizam, bem como medir os movimentos das fontes emissoras em relação a nós, sejam elas estrelas ou mesmo galáxias. Tal estudo somente é possível devido ao fato de o deslocamento de uma fonte que emite luz em relação a um observador modificar a frequência com que este último a recebe.

Se essa fonte se aproxima do observador, as ondas por ela emitidas são encurtadas pelo movimento e recebidas pelo observador com comprimentos de onda cada vez menores do que o emitido. Em contrapartida, quando a velocidade da fonte emissora é de afastamento em relação ao observador, ocorre o oposto, ou seja, o observador receberá as ondas com comprimentos maiores que o emitido, como esquema da figura 09.

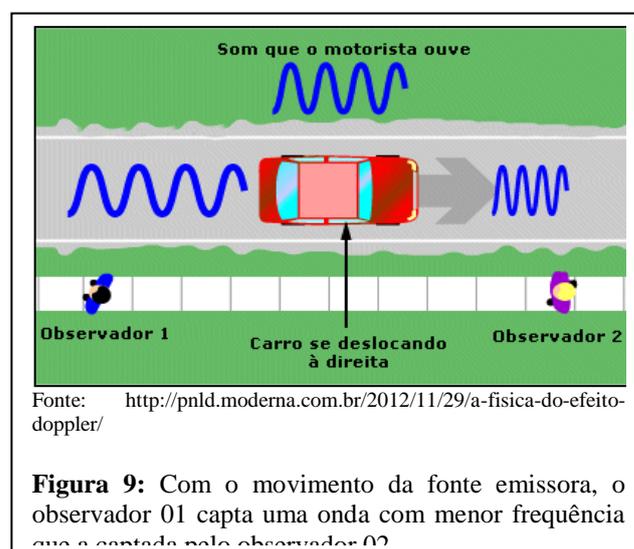


Figura 9: Com o movimento da fonte emissora, o observador 01 capta uma onda com menor frequência que a captada pelo observador 02.

Esse fenômeno é conhecido como Efeito Doppler, estudado inicialmente nos fenômenos ondulatórios da acústica, que também se aplica às ondas eletromagnéticas.

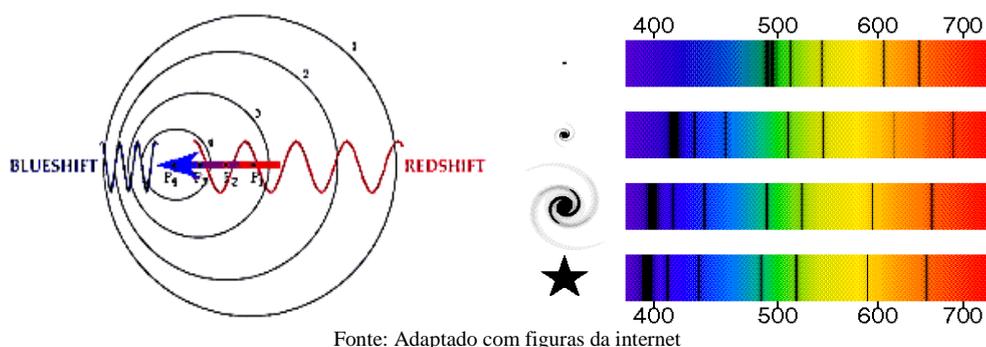
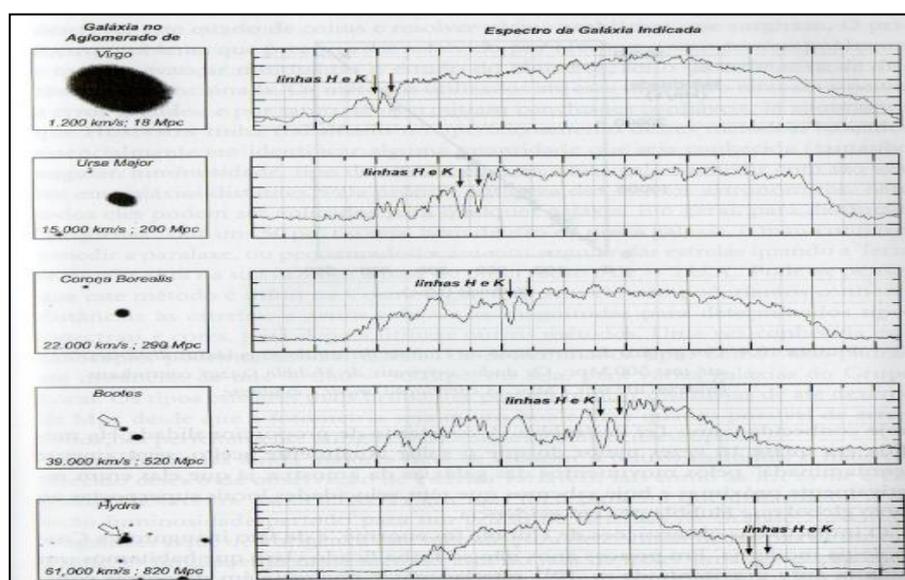


Figura 10: Deslocamento das linhas espectrais para o vermelho (*Redshift*) e para o azul (*Blueshift*) de acordo com os comprimentos de onda captados pelo observador.

Como, dentro do espectro visível, os comprimentos de onda da faixa **Azul** são menores que os da faixa **Vermelha**, em uma analogia ao Efeito Doppler, e observando o deslocamento das linhas do espectro de absorção, é possível que o mesmo efeito aconteça com a luz. Assim, se um objeto se afasta de nós, o comprimento de onda da luz que ele emite aumenta, ou seja, a frequência diminui e é desviado para o vermelho (*Redshift*). Se o objeto se aproxima, o comprimento de onda diminui, ou seja, a frequência aumenta e é desviado para o azul (*Blueshift*), como exemplificado no esquema da figura 10.

Através da figura 11 também é possível observar que quanto mais distante a galáxia, maior é o deslocamento das linhas na direção de comprimentos de onda maiores.



Fonte: Livro Cosmologia Física, p.81.

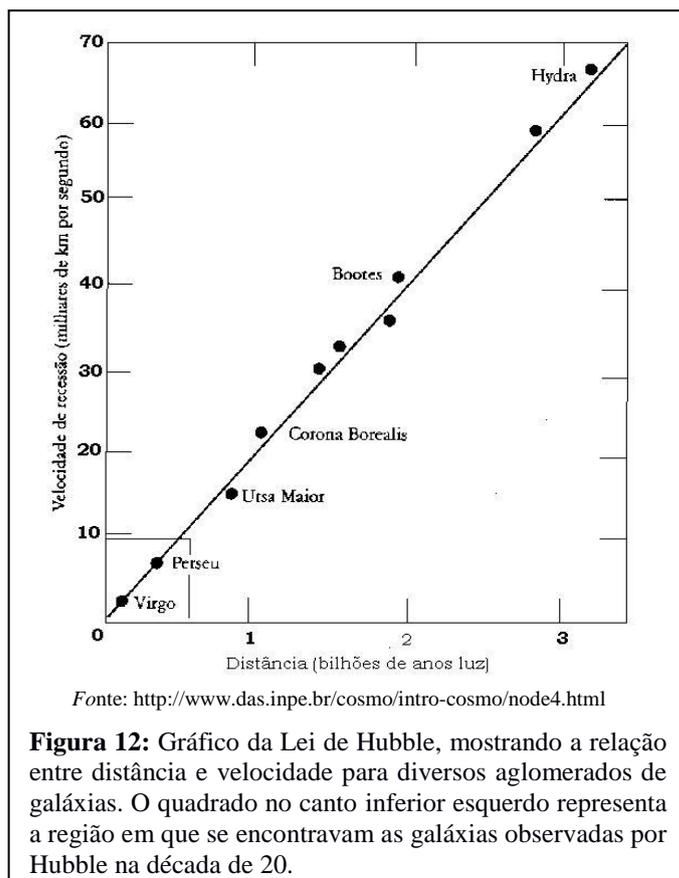
Figura 11: Deslocamento das linhas espectrais H e K de absorção usando a mesma base de referência para galáxias em diferentes aglomerados, fenômeno associado ao efeito Doppler.

O desvio está diretamente relacionado à velocidade da fonte, quanto maior a velocidade, maior o desvio. A definição matemática para o *Redshift* (z) é dada pela equação 01:

$$z = \frac{\lambda_{\text{observado}} - \lambda_{\text{emitido}}}{\lambda_{\text{emitido}}} = \frac{v_e}{c} \quad (01)$$

de modo que $\lambda_{\text{observado}}$ é o comprimento de onda da luz observada, λ_{emitido} é o comprimento de onda no referencial da fonte, v_e é a velocidade da fonte (em relação ao observador) e c é a velocidade da luz.

Com a constatação dos *Redshifts* das galáxias se tornou natural a consideração de sua dependência em relação às distâncias que elas tinham da Via Láctea. O avanço decisivo nas pesquisas de Hubble aconteceu em 1929, quando ele utilizou cuidadosamente as distâncias das galáxias, obtidas a partir dos desvios observados das linhas dos espectros, e conferiu que, para um dado espectro, todos os desvios observados eram de mesma magnitude e resultavam numa proporcionalidade às distâncias estimadas para as galáxias emissoras.



Sustentados por medições feitas por seu colaborador Milton Humason, os estudos de Hubble levaram a resultados que mostraram pela primeira vez na história da Cosmologia uma correlação entre a velocidade e a distância estimadas das galáxias.

Na figura 12, é apresentada uma representação gráfica da relação entre distância e velocidade de aglomerados de galáxias. A região em que se encontravam as galáxias observadas por Hubble na década de 20 é representada no quadrado no canto inferior esquerdo.

A partir de tais dados foi possível estabelecer a relação representada pela expressão matemática 02,

$$v = H_0 \cdot d \quad (02)$$

sendo, v é a velocidade com que as galáxias se afastam, d a distância entre ela e o observador e H_0 uma constante chamada *constante de Hubble*, obtida a partir da tangente do gráfico.

Durante as últimas décadas, cosmólogos e astrônomos usando diferentes fontes de dados diferentes estimaram os valores indicados para a constante de Hubble (H_0). Tais valores assumiam variação entre 50 (km / s) / Mpc e 100 (km / s) / Mpc. A sonda espacial da NASA

WMAP, ao caracterizar de forma detalhada as flutuações de fundo cósmico na faixa das micro-ondas, determinou de forma precisa alguns parâmetros cosmológicos básicos, dentre eles a constante de Hubble. A atual e melhor medição direta da constante de Hubble tem o valor de 73,8 (km/s)/Mpc, tendo uma margem erro de mais ou menos 2,4 (km/s)/Mpc, correspondendo a uma incerteza de 3%. Essa medida é completamente independente das medições tradicionais que utilizam variáveis Cefeidas (NASA, 2014).

Para não esquecer...

Não foi ao acaso que o uso da expressão “astronômico” passou a fazer parte de nosso vocabulário sendo sinônimo de valores muito grandes. Para facilitar a assimilação dos textos de Astronomia, o uso de unidades de medida convencionais de distâncias – como metro e quilômetro – deu lugar às chamadas unidades de medidas Astronômicas como:

- ***Unidade Astronômica (UA)*** – Distância média da Terra ao Sol, aproximadamente **150 milhões de quilômetros**. Torna-se afetiva no estudo dentro do sistema solar;
- ***Ano-Luz (a.l.)*** - Distância percorrida pela luz no vácuo num intervalo de tempo de 1 ano (365dias) - **1 Ano-luz corresponde a 9.460.730.472.580,8 km**. Utilizado para distâncias entre estrelas e galáxias.
- ***Parsec (pc)*** - Distância de um objeto celeste cuja **paralaxe** (deslocamento aparente que um objeto sofre quando visto de posições diferentes) anual média seja de um segundo de arc. **Equivale a 3,26156 anos-luz, ou mesmo $3,086 \times 10^{13}$ km**. Usada para distâncias muito grandes, como as existentes entre estrelas, galáxias ou de objetos muito distantes, como quasares.

A LEI DE HUBBLE E A IDADE DO UNIVERSO

Se o Universo está se expandindo é razoável imaginar que, em algum momento no passado, ele deve ter começado em algum ponto a sua expansão. A Lei de Hubble implica que, em algum momento no passado, todas as galáxias e tudo que existe no Universo – matéria e radiação – se encontravam em um estado mais próximo e condensado, o que leva à teoria do *Big Bang*. A partir da suposição de que as velocidades das galáxias permaneceram constantes no tempo até o momento atual, a Idade do Universo pode ser estimada a partir das observações da Lei de Hubble.

Como a lei de Hubble relaciona a velocidade de expansão da galáxia (v) com a distância (d) que esta está do nosso referencial de observação, de acordo com a equação 02, temos:

$$v = H_0 \cdot d$$

Utilizando um conceito básico da mecânica, podemos de maneira superficial usar a relação entre velocidade, distância e tempo dada pela equação abaixo,

$$v = \frac{d}{t} \quad (03)$$

Substituindo a equação 03 na equação 02, teremos:

$$t = \frac{1}{H_0} \quad (04)$$

Dessa forma, se considerarmos o valor admitido para a constante de Hubble citado anteriormente, podemos enfim estimar a idade do Universo, por meio de um cálculo superficial. Tomemos, para a *constante de Hubble*, o valor $H_0 = 73,8 \text{ (km/s)/Mpc}$ e ao aplicarmos em 04, teremos:

$$t = \frac{1}{H_0} \Rightarrow t = \frac{1}{\left(\frac{73,8}{3,086 \cdot 10^{19}}\right)} \Rightarrow t \cong 4,18 \cdot 10^{17} \text{ s} \quad (05)$$

O valor encontrado apresenta uma quantidade muito grande de segundos. Para facilitar a visualização da totalidade desse tempo, faremos a conversão para anos. Se, de forma geral, um ano tem 365 dias, cada dia tem 24 h, cada hora tem 3600 s, daremos a conversão dessas unidades de medida de forma simples:

Se 1 ano tem $(365 \times 24 \times 3.600) = 31.536.000 \text{ s}$, ou seja, aproximadamente $3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$.

Finalmente, utilizando uma regra de três simples teremos:

$$\frac{1 \text{ ano}}{(3,15 \cdot 10^7 \text{ s})} = \frac{A}{(4,18 \cdot 10^{17} \text{ s})}$$

$$(3,15 \cdot 10^7 \text{ s}) \cdot A = (4,18 \cdot 10^{17} \text{ s}) \cdot \text{ano}$$

$$A = \frac{(4,18 \cdot 10^{17} \text{ s}) \cdot \text{ano}}{(3,15 \cdot 10^7 \text{ s})}$$

$$A \cong 1,33 \cdot 10^{10} \text{ anos}$$

Concluimos, portanto, que o Universo tem aproximadamente 13 bilhões de anos.

REFERÊNCIAS

ASSIS, A. K. T.; NEVES, M. C. D.; SOARES, D. S. L. **A Cosmologia de Hubble: de um Universo finito em expansão a um Universo infinito no espaço e no tempo.** In: 2nd Crisis in Cosmology Conference, Port Angeles, 2008. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Cosmologia-de-Hubble.pdf>>. Acesso em: 13/10/14

GARLICK, M. **O universo em expansão: do big bang aos dias de hoje.** São Paulo: Publifolha, 2002.

HARRISON, E. R. **Cosmology: The Science of the Universe.** Cambridge: Cambridge University Press, 1981.

HORVATH, J. et al. **Cosmologia Física: do micro ao macro cosmos e vice – versa.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.

HOW Fast is the Universe Expanding? Disponível em: <http://map.gsfc.nasa.gov/universe/uni_expansion.html>. Acesso em: 25/03/2015

KRAGH, H. **Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe.** Princeton: Princeton University Press, 1996.

MORGAN, M. S.; MORRISON, M. **Model as Mediators: perspectives on natural and social science.** New York: Cambridge University Press, 1999.

THE large-scale smoothness of the Universe. Disponível em: <http://www.nature.com/nature/journal/v397/n6716/fig_tab/397225a0_F1.html#figure-title>. Acesso em: 14/10/14

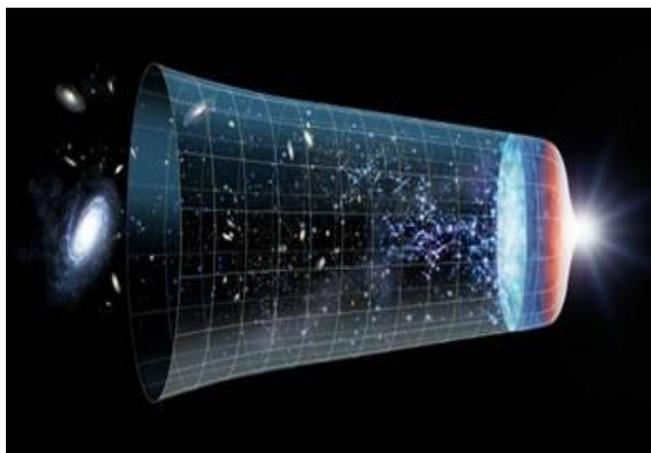
WAGA, I. Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o Século XXI. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 157 – 173. 2005.

Vídeo Sugerido:

What light can teach us about the universe - Pete Edwards. Disponível em: <<http://ed.ted.com/lessons/what-light-can-teach-us-about-the-universe-pete-edwards>>. Acesso em: 13/10/14.

CAPÍTULO 3 – “A ORIGEM E FORMAÇÃO DE TUDO”

O Universo, sua origem e futuro são um tema que sempre interessou ao homem. E ao longo dos tempos, compreender a imensidão que nos abriga tem sido a missão de muitos em todos os cantos do nosso mundo. Antigamente, a religião e a mitologia se encarregavam de tentar responder aos questionamentos da humanidade sobre o surgimento do Universo, sua formação e constituição, e atribuíam toda a responsabilidade às divindades.



Fonte: <https://brazilastronomy.files.wordpress.com/2014/12/cosmologia.jpg>

Figura 1: Concepção artística da origem e evolução do universo, de acordo com a teoria evolutiva.

Entretanto a necessidade de respostas mais concretas trouxe consigo a proposição de novas ideias que conduziram ao abandono das tradições religiosas e culminou no desenvolvimento da Ciência, com uma nova forma de estudar o Universo, que predomina até os dias atuais.

Tomando os estudos realizados no século XX, podemos ressaltar a existência de dois principais tipos de teorias cosmológicas: as teorias evolutivas, que propõem um Universo homogêneo e isotrópico que mudou a “aparência” ao longo dos tempos, entre as quais está a teoria do *Big Bang*; e as teorias estacionárias, que partem do pressuposto do Princípio Cosmológico ideal, com o Universo homogêneo, isotrópico e imutável no tempo. No decorrer deste século, o conhecimento acerca do *Cosmos* aumentou de maneira inconcebível, contudo a Ciência ainda não esclareceu alguns pontos, e algumas lacunas ainda permanecem e aberto.

Os cientistas continuam a empenhar-se na busca por evidências do início do Universo, e, mesmo que a certeza de como tudo começou ainda esteja distante, tal questão é de suma importância para a Ciência, nas discussões dos diversos cenários especulativos existentes. As teorias sobre a origem do Universo e seu futuro não estão conclusas e certamente sofrerão algumas mudanças com as descobertas na Cosmologia (MARTINS, 2012).

O QUE DIZEM OS CIENTISTAS HOJE?

Atualmente, a teoria mais difundida no meio científico é a teoria do *Big Bang*, que propõe o início do Universo a partir de um estado extremamente quente e denso, no qual toda matéria e radiação estavam concentradas em um espaço infinitamente pequeno – que recebe a denominação de singularidade. Tal teoria descreve que nos primeiros momentos do Universo a temperatura era extremamente alta, proporcionando a colisão de fótons com tamanha intensidade que espontaneamente eram produzidos pares de partículas e antipartículas que imediatamente se aniquilavam e se convertiam em energia novamente.

A essência da teoria do *Big Bang* surgiu na década de 1920, contudo não recebeu esse nome inicialmente. O termo *Big Bang* foi introduzido de forma irônica – e pejorativa – pelo astrofísico e cosmólogo britânico Fred Hoyle²¹ apenas na década de 1940 em uma de suas críticas aos modelos de Universo em expansão, feita em um programa radiofônico da companhia inglesa BBC (British Broadcasting Corporation). Contrariamente às pretensões de Hoyle, a expressão *Big Bang* passou a ser associado ao modelo proposto por Georges Lemaître, que postulava um momento de criação do Universo.

Em um olhar mais literal aos símbolos linguísticos, podemos afirmar que a tradução para a expressão é feita de forma insatisfatória ao se considerar a situação com que o termo foi cunhado por Hoyle, na qual o adjetivo “Big” faz o papel designativo do aumentativo, que em português poderia ser apresentado pelo sufixo “ão”, ao passo que o termo “bang” seria mais bem traduzido como “estrondo”, sugerindo que um ruído seria ouvido²² (SOARES, 2001). Entretanto, a expressão *Big Bang* é frequentemente citada como uma “Grande Explosão”, fato que pode nos levar a grandes equívocos de interpretação sobre o que essa teoria propõe.

Nesse sentido, faz-se necessário esclarecer que não houve uma explosão no sentido usual da palavra, equivalente ao processo químico que no interior de um espaço tridimensional, mas sim uma “expansão”. No caso do *Big Bang* o que ocorre é um processo de súbita liberação de energia que dá origem ao espaço e ao tempo simultaneamente. À medida que o Universo se expandia, a temperatura diminuía gradativamente e conseqüentemente a energia de radiação

²¹ Fred Hoyle era um forte crítico da teoria de expansão do Universo que havia proposto uma teoria alternativa para criação do Universo na qual o Universo permanecia estático, a “teoria do Estado Estacionário”, uma teoria concorrente àquela que dizia que o Universo tivera uma origem a partir de uma singularidade.

²² Vale ressaltar que as equações que descrevem e tentam definir os possíveis eventos desse processo no Universo não fazem referência a nenhuma onda sonora produzida.

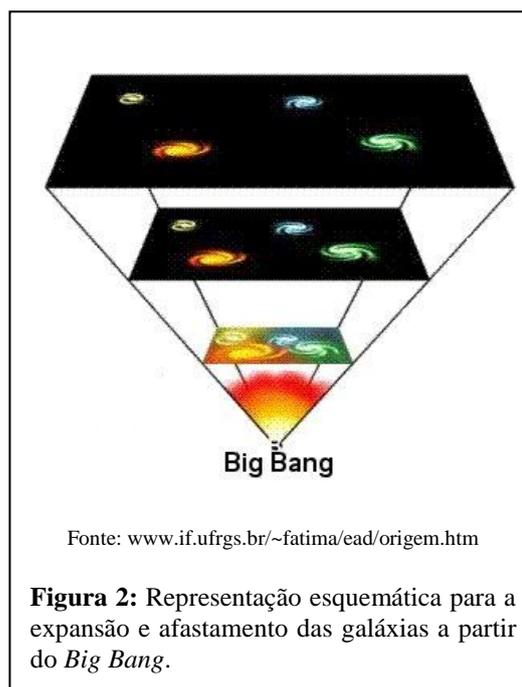
também diminuía possibilitando o domínio da matéria e a formação ao longo do tempo das estruturas que hoje conhecemos.

QUAIS EVIDÊNCIAS SUSTENTAM A TEORIA DO BIG BANG?

Sustentando o modelo cosmológico que propõe o Universo em expansão, a base da teoria foi proposta de forma independente por *Alexander Friedmann*²³ (que em seus estudos ao propor uma resolução para as equações da Teoria da Relatividade Geral de Einstein, encontrou indícios de um Universo em expansão) e por *Georges Lemaître*²⁴, que defendeu que o Universo começou com uma explosão chamando a esta teoria de “*hipótese do átomo primordial*”, além do contributo decisivo de *George Gamow*²⁵, ao indicar algumas evidências de que o Universo estava a expandir-se a partir de um início, dando maior subsídio à teoria. Algumas evidências são levantadas para sustentar as hipóteses relacionadas ao *Big Bang*, a saber:

A EXPANSÃO DO UNIVERSO

Em 1929, o astrônomo Edwin Hubble apresentou evidências de que as galáxias estão afastando-se umas das outras, e quanto maior a distância entre elas maior a velocidade com que elas se afastam. A descoberta de Hubble dava assim base observacional para a teoria do *Big Bang*. Se as galáxias estão se afastando continuamente em um dado momento do passado elas estariam mais próximas, confirmando as afirmações propostas pelo modelo da singularidade.



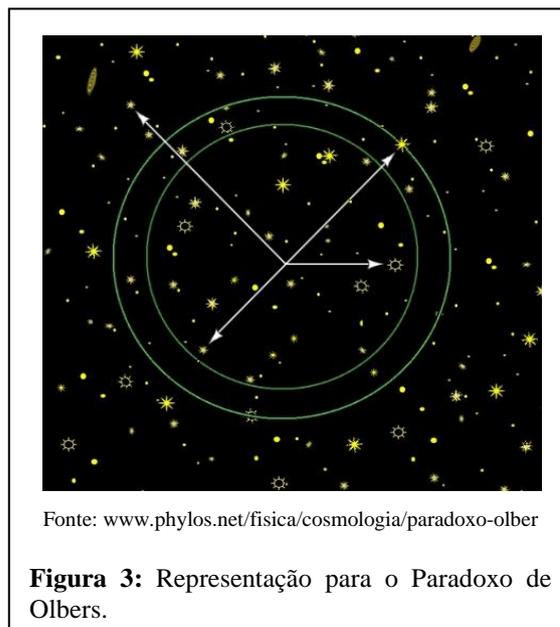
²³ O trabalho de Friedmann teve pouco impacto, contudo suas ideias seriam novamente apresentadas por outros autores alguns anos mais tarde.

²⁴ Somente em 1931 Lemaître publicou um artigo na conceituada revista científica inglesa *Nature* sob o título “*The beginning of the world from the point of view of quantum theory*”. Artigo no qual desenvolvia sua “teoria do átomo primordial” e propunha que em um determinado momento, um evento de criação do Universo deveria ter ocorrido.

²⁵ Gamow realizou importantes descobertas e trabalhos fundamentais que se espalham por vários campos da Física e astrofísica, dentre eles a formação estelar, nucleossíntese estelar e a nucleossíntese no Big Bang.

A ESCURIDÃO DA NOITE

Outro indício de que o Universo teve um início está associada à escuridão do céu que observamos a noite. O questionamento acerca da escuridão da noite foi lançado por Heinrich Olbers em 1826 e passou a ser conhecido como “Paradoxo de Olbers”, isso devido à argumentação sobre o fato da escuridão do céu estar em contradição com a hipótese de um Universo infinito e estático. Em tal paradoxo, a intensidade do brilho das estrelas



Fonte: www.phylos.net/fisica/cosmologia/paradoxo-olber

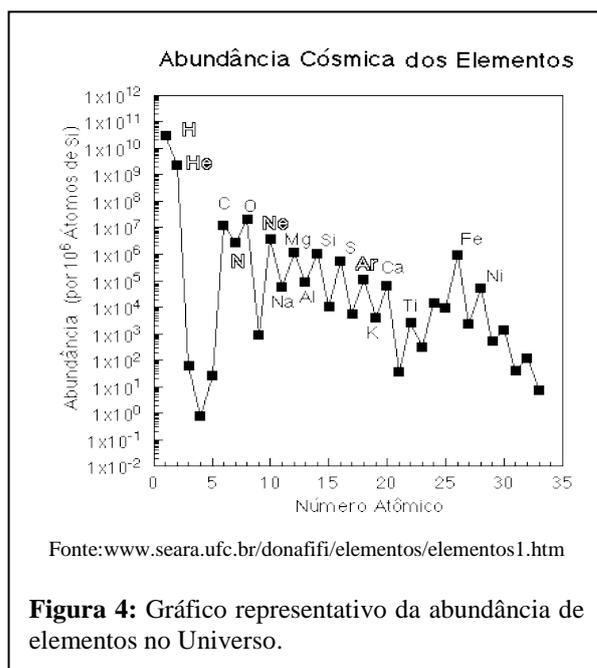
Figura 3: Representação para o Paradoxo de Olbers.

diminui com o inverso do quadrado da distância. Contudo, se assim fosse, o céu noturno seria uniformemente brilhante, pois em cada linha visada se depararia com um número maior de estrelas. O que contradiz a observação do céu noturno, predominantemente escuro, pontilhado por várias estrelas, mas de maneira alguma exageradamente brilhante.

Nesse sentido, a escuridão da noite aparece como prova de que o Universo teve um início, isto é, tem uma idade finita e está se expandindo, como postula a teoria do *Big Bang*. Se o Universo existe por somente uma quantidade finita de tempo, a luz proveniente das estrelas mais distantes ainda não teria tido a chance de nos alcançar, pois sua velocidade de propagação também é finita. Além do fato de que, se o Universo está se expandindo e as estrelas distantes estão se afastando de nós, a luz proveniente delas tem seu espectro deslocado para o vermelho (*Redshift*), diminuindo, portanto, a intensidade em seu brilho.

A ABUNDÂNCIA DE HELIO

Uma das evidências apresentadas para sustentação do modelo cosmológico tido atualmente como padrão, o *Big Bang*, está associada à abundância de elementos leves no Universo. Os dados observacionais obtidos a partir dos telescópios e espectroscópios apresentam indícios de que aproximadamente 75% da matéria bariônica do Universo que conhecemos está na forma de hidrogênio, e o Hélio constitui cerca de 25% dessa matéria, ficando os demais elementos químicos com menos de 1% desse total. A proporção de hélio apresentada nos dados é superior à estimativa da quantidade que seria produzida através dos processos que ocorrem no interior das estrelas ou em explosões de supernovas (WAGA, 2005).



os elementos leves – hidrogênio, hélio e um pouco de lítio – foram formados, o que explicaria a origem do hélio antes da formação das estrelas. (TURNER, 2012)

A RADIAÇÃO CÓSMICA DE FUNDO (RCF)

Em 1948, George Gamow publicou um artigo no qual afirmava a existência de uma radiação cósmica, resultado do próprio processo violento de criação do Universo, que permeava todas as partes do Universo. Nesse artigo desenvolveu os cálculos para estimar a temperatura dessa radiação primordial que, devido à expansão do Universo, teve seu comprimento de onda modificado, sofrendo desvio para o vermelho a partir da luz visível, até além do infravermelho, chegando à região das micro-ondas do espectro eletromagnético (TURNER, 2012).

Contudo, somente em 1964, os radioastrônomos norte-americanos *Arno A. Penzias e Robert W. Wilson*, acidentalmente fizeram uma descoberta que se revelou ser da maior importância para a confirmação de que o Universo teve uma origem, ao captarem um ruído rádio quando calibravam uma de suas antenas. O ruído rádio é usualmente expresso em termos de uma temperatura, uma vez que ele é causado pelo movimento irregular de

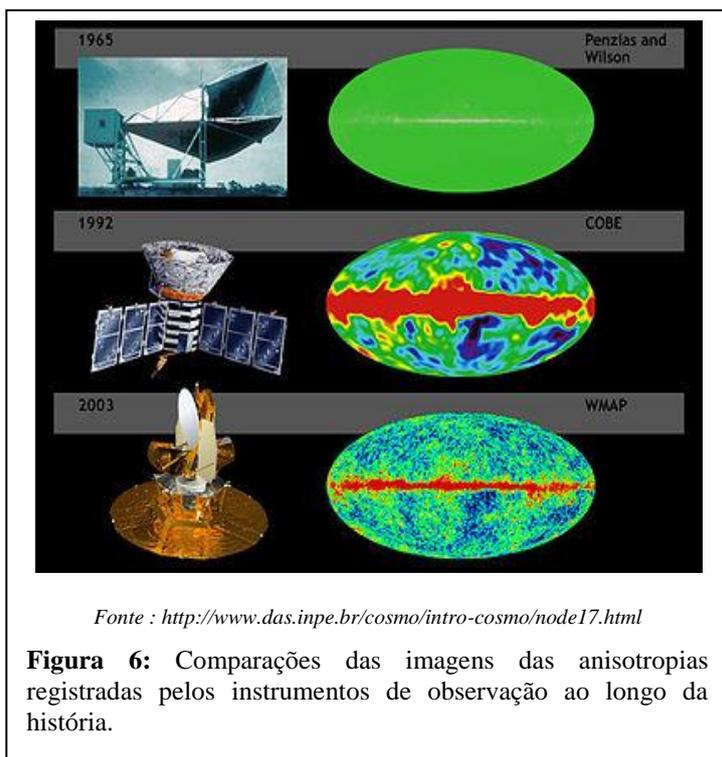
Esse fato nos remete às proposições feitas por George Gamow e seus colaboradores, que centraram o foco de sua pesquisa em como descrever os estágios iniciais de evolução do Universo e buscaram estudar o “Universo primordial” e compreender a formação dos elementos químicos usando Física Nuclear de alta energia. Sugeriram, portanto, que, em algum momento no início do Universo, a pressão e a temperatura eram tão altas quanto no interior de uma estrela, e num processo de fusão nuclear que chamaram de “nucleossíntese primordial”,



Fonte : <http://www.casadaciencia.ufrj.br/>

Figura 5: Os cientistas Penzias (à direita) e Wilson próximos à antena utilizada.

elétrons. Desse modo, quanto mais elevada é a temperatura, maior será o movimento desses elétrons e, conseqüentemente, maior o ruído. O valor obtido inicialmente por Penzias e Wilson foi de 3,5 K com uma margem de erro considerável. Estabelecia-se, portanto, a existência da *Radiação Cósmica Fundo*, que permeia todo o Universo e chega até nós por todas as direções, na faixa de micro-ondas, reforçando de forma definitiva a teoria do *Big Bang*.



Após tal descoberta, estudos se seguiram com o objetivo de medir com maior precisão a temperatura dessa radiação e verificar sua isotropia. Em 1992, o satélite Cosmic Background Explorer (COBE)²⁶ da NASA descobriu que a intensidade da RCF exibia pequenas variações, refletindo traços de uma anisotropia, que os cientistas acreditavam serem as possíveis “sementes” que deram origem às estruturas maiores do nosso Universo, tais como os

aglomerados de galáxias, além da obtenção de um espectro que se ajustava perfeitamente com a curva teórica de um corpo negro para a temperatura de 2,7 K. (TURNER, 2012).

Em 2001, a NASA, com o objetivo de obter informações mais precisas que as fornecidas pelo COBE sobre as anisotropias, lançou ao espaço a sonda Wilkinson²⁷ Microwave Anisotropy Probe (WMAP). A sonda obteve mapas do céu com uma sensibilidade 45 vezes melhor que a do Cobe e forneceu medições muito precisas das flutuações de grande escala angular da radiação cósmica de fundo, dando aos cientistas um verdadeiro retrato da radiação cósmica de fundo e estabelecendo a temperatura média de 2,725 K para a radiação comumente aceita nos

²⁶ Lançado em 1989 pela NASA, esse satélite foi bem sucedido na sua missão permanecendo em órbita até 1996.

²⁷ O nome “Wilkinson” é uma homenagem ao cientista David Wilkinson, membro do grupo de cientistas que projetou o satélite e um dos pioneiros no estudo da radiação de fundo cósmica.

dias de hoje. Dessa forma, foi possível obter informações mais precisas ainda sobre o Universo primordial (VILLELA, 2005). Além disso, podemos citar algumas outras importantes conclusões que puderam ser obtidas a partir dos dados do WMAP como: a idade do Universo ($13,73 \pm 0,12$ bilhões de anos), o valor da constante de Hubble ($70,1 \pm 1,3$ km/s/Mpc) e a previsão da composição do Universo (4 % de matéria bariônica ordinária, 23% de *Matéria Escura* e 73% de *Energia Escura*, que veremos mais adiante).

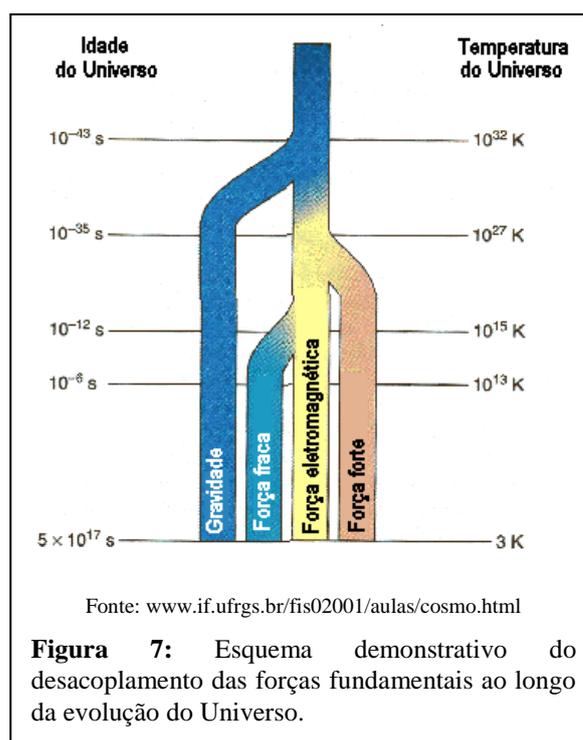
A HISTÓRIA TÉRMICA DO UNIVERSO

Considerando a aceitação do modelo cosmológico do *Big Bang* que nos propusemos a discutir, admitimos que, imediatamente após sua origem, o Universo iniciou o processo de expansão a partir da singularidade e, conseqüentemente, começou a esfriar, estabelecendo, portanto, uma *história térmica para o Universo*. Com essa história, procura-se descrever os inúmeros processos físicos que ocorreram ao longo dessa série de eventos que estão associados com a temperatura do Universo em cada período. Durante os instantes iniciais dos estágios de expansão do Universo, havia o domínio da radiação sobre a matéria, diferentemente do observado hoje onde a densidade de radiação é inferior a 0,1% da densidade de matéria do Universo.

A história da evolução do Universo pode ser dividida em dois grandes períodos, marcados pelo *Domínio da Radiação* e o *Domínio da Matéria*, e narrada a partir de alguns eventos importantes que aqui chamaremos de “Eras”.

ERA DE PLANCK

Trata-se da fase da evolução do Universo, que ocorreu quando sua idade era inferior a cerca de 10^{-43} segundos. Ao tentarmos retomar os eventos desse momento nos deparamos com situações que não podem ser descritas por meio da *Teoria Relativística da Gravitação* devido à necessidade de inclusão de efeitos quânticos. Os conceitos de tempo e de espaço não têm mais os significados dados pela Física Clássica. Além disso, há o fato de que nessa fase as



AS FORÇAS FUNDAMENTAIS DA NATUREZA

Segundo o entendimento científico atual, todos os fenômenos físicos são norteados por quatro interações fundamentais: a *Interação Gravitacional*, *Interação Eletromagnética*, *Interação Nuclear Forte* e a *Interação Nuclear Fraca*. Ordinariamente somente as forças associadas aos fenômenos eletromagnéticos e gravitacionais produzem efeitos significativos em escalas observáveis. As demais estão restritas às interações nucleares.

As forças fundamentais da natureza são transmitidas por meio de partículas virtuais mediadoras chamadas de *Bósons* – que trataremos no decorrer deste texto. Em termos de intensidade, as interações fundamentais são normalizadas tomando-se como base a *Interação Nuclear Forte*, naturalmente a mais forte de todas as interações, seguida em ordem decrescente pelas interações *Eletromagnética*, *Nuclear Fraca* e *Gravitacional*, respectivamente. A seguir apresentamos algumas propriedades dessas forças fundamentais.

Interação Nuclear Forte

Possui curtíssimo alcance e ocorre em dois níveis de interação no interior do núcleo atômico. O primeiro é chamado de força forte fundamental e corresponde à interação que mantém os quarks unidos dentro dos prótons e dos nêutrons pela troca de glúons. O segundo é chamado de força forte residual e está associada à superação da repulsão eletromagnética, que garante a estabilidade do interior do núcleo atômico. Tem como partícula mediadora o *glúon* a maior intensidade, tomada como unidade (~ 1) de referência.

Interação Eletromagnética

Responsável pela existência dos átomos, garantindo que os elétrons permaneçam nos orbitais atômicos. Determina como ocorrem as interações entre partículas eletricamente carregadas e relaciona os fenômenos elétricos com os fenômenos magnéticos. Tem como partícula mediadora o *fóton* e uma intensidade proporcional a 10^{-2} .

Interação Nuclear Fraca

Atua em dimensões muito pequenas, dentro do núcleo atômico, para distâncias na ordem de $10^{-18}m$. Responsável por processos de decaimento radioativo (como o decaimento beta no núcleo atômico, processo no qual um nêutron decai em um próton, um elétron e um anti-nêutrino, formando átomos isótopos) que estão presentes em várias áreas da Ciência, desde a geologia à Cosmologia. Tem intensidade proporcional a 10^{-14} , e como partículas mediadoras os bósons pesados de spin inteiro W^+ , W^- e Z^0 .

Interação Gravitacional

Força de atração que atua entre todas as partículas massivas existentes. Devido ao seu longo alcance, a gravidade é responsável por fenômenos de larga escala como a formação de galáxias e de todos os outros elementos astronômicos massivos do Universo. Tem como partícula mediadora o gráviton e uma ação de intensidade proporcional a 10^{-37} .

(RODRIGUES, 2010)

quatro interações fundamentais da natureza (gravitacional, eletromagnética, nuclear fraca e nuclear forte) constituíam uma única força.

ERA DA GRANDE UNIFICAÇÃO

Teve seu início 10^{-43} segundos após o *Big Bang*, instante no qual a força de *Interação Gravitacional* se separou das demais. A essa fase está associada à chamada de Teoria de Grande Unificação (GUT - *Grand Unified Theory*), que estabelece a união das outras três forças fundamentais e que viria a ser chamada de força *Eletronuclear* por associar as interações *Eletromagnética*, *Nuclear Forte* e *Nuclear Fraca*.

ERA DA INFLAÇÃO

Ocorreu entre $10^{-35}s$ e 10^{-32} segundos após o *Big Bang*. A inflação Cósmica foi proposta inicialmente por Alan Guth em 1981, quando postulou que cerca de 10^{-35} segundo após o *Big Bang*, o Universo teria iniciado sua expansão, passando por uma por uma fase de crescimento exponencial. Esse ínfimo período abrangido por essa era marcou uma nova fase para o Universo: houve o resfriamento para $10^{27} K$ devido à inflação, proporcionando uma quebra espontânea de simetria, de modo que as interações fundamentais antes unificadas na *Eletronuclear* foram separadas, passando a constituir agora as *Interações Nuclear Forte e Interação Eletrofraca*.

A *Interação Eletrofraca* permaneceu até quando o Universo tinha 10^{-10} segundos de idade, a temperatura caiu para 10^{15} K e ela foi dividida em *Interação Eletromagnética e Interação Nuclear Fraca*. No período de 10^{-10} e 10^{-7} segundos após o *Big Bang*, que classificaremos aqui como *Período de Confinamento*, a temperatura caiu para 10^{13} K. Com as quatro forças fundamentais finalmente autônomas, a energia associada aos fótons possibilitou a criação dos pares partículas-antipartículas, os quarks e anti-quarks foram formados e puderam se associar e formar os *Hádrons e Mésons* (HORVATH, 2008, p.189).

O MODELO PADRÃO E AS PARTÍCULAS ELEMENTARES

O *Modelo Padrão* é uma teoria que foi estabelecida entre as décadas de 1960 e 1970 com o objetivo de explicar a organização das partículas mais básicas que constituem a matéria que compõe o alicerce do nosso Universo. Sem muitos pormenores, essas partículas são chamadas de *Elementares*, por não serem formadas por nenhuma outra, sendo, portanto, o constituinte básico da matéria. Esse modelo tem se mantido com sucesso durante essas décadas, e muitas partículas previstas pelo modelo foram encontradas pelos aceleradores de partículas (BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2010, P.31).

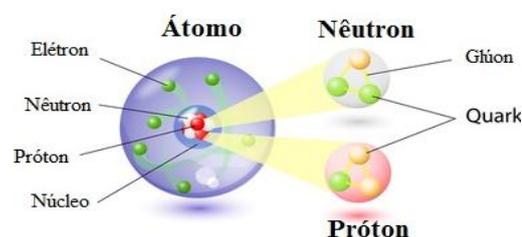
nome	u up	c charm	t top	γ photon	H Higgs boson
charge	2/3	2/3	2/3	0	0
spin	1/2	1/2	1/2	1	0
massa	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0	7 GeV/c ²
nome	d down	s strange	b bottom	g gluon	Z ⁰ Z boson
charge	-1/3	-1/3	-1/3	0	0
spin	1/2	1/2	1/2	1	1
massa	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0	91.2 GeV/c ²
nome	ν _e electron neutrino	ν _μ muon neutrino	ν _τ tau neutrino	W [±] W boson	
charge	0	0	0	±1	
spin	1/2	1/2	1/2	1	
massa	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
nome	e electron	μ muon	τ tau		
charge	-1	-1	-1		
spin	1/2	1/2	1/2		
massa	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²		

Fonte: Adaptado da Internet

Dessa forma, segundo esse modelo, toda a matéria ordinária, desde o mais simples mineral até as estrelas, é constituída por *Léptons, Quarks e Bósons*, as *Partículas Elementares*. O modelo ainda prevê a interação fundamental entre essas partículas por meio das *Forças Fundamentais da Natureza*, de modo que os *Léptons* e os *Quarks* interagem por meio dos *Bósons*, que são os mediadores das forças. Dessa forma, a figura acima apresenta um desenho esquemático das partículas que constituem o Modelo Padrão. Elas totalizam 61 partículas: 36 *Quarks*, 12 *Léptons*, 12 *Bósons* e o *Bóson de Higgs*. A seguir, falaremos um pouco sobre cada uma dessas partículas elementares e como elas interagem na formação dos elementos constituintes da matéria:

QUARKS

Existem seis tipos de quarks: *top(t)*, *bottom(b)*, *charm(c)*, *up(u)*, *down(d)* e *strange(s)*. Cada um deles possui sua antipartícula característica. Todos eles possuem três cores diferentes associadas a sua carga hadrônica, totalizando 36 partículas nessa categoria.



Fonte: Imagem da Internet

Entretanto, o Universo como conhecemos hoje é formado simplesmente pelos quarks dos tipos *u* e *d*, as demais estruturas formadas por quarks dos tipos *s*, *c*, *b* e *t* só aparecem em experiências realizadas nos grandes aceleradores de partículas. Os *Quarks* se agrupam de duas maneiras diferentes para constituir os *Hádrons*. Em uma delas os *Bárions* são formados com a associação de três *Quarks*, na outra o *Mésons* são construídos por uma par *Quark-anti-quark*.

- **Bárions**

Partículas massivas sujeitas à interação forte e com $spin = 1/2$. Os exemplos mais comuns são os prótons e os nêutrons e seus respectivos estados excitados. Os prótons são formados por dois quarks *up* e um *down*, e o nêutron por dois quarks *down* e um *up*. A matéria associada a essa formação é chamada de *matéria bariônica*. Os astrônomos acreditam que o Universo seja formado tanto por matéria bariônica como por matéria não bariônica, entretanto toda a matéria visível (leia-se detectável) no Universo é de natureza bariônica.

- **Mésons**

Hádron de spin inteiro, como o píon (π^+ e π^0) e kaon (K^+ e K^0), representa uma partícula de massa intermediária entre os *léptons* e os *bárions*. Para cada *Méson* existe também uma antipartícula correspondente, com as massas de repouso e as cargas elétricas, o spin e a composição equivalentes. São partículas importantes para o estudo dos raios cósmicos que incidem na atmosfera superior da Terra.

LÉPTONS

São partículas verdadeiramente elementares que não interagem com a Força Nuclear Forte, possuem spin $1/2$ e podem ter carga elétrica ou não, neste caso são chamados de Neutrinos. Existem seis tipos de Léptons, e o Elétron é o mais familiar deles. Os demais são conhecidos como Múon, o Tau e os três Neutrinos: neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do tau. Cada um deles também possui sua antipartícula correspondente. Assim, teremos seis Léptons e seis anti-Lépton, totalizando 12 tipos de partículas elementares com tais características.

Leptons $spin = 1/2$		
NOME	MASSA GeV/c ²	CARGA
ν_L lightest neutrino*	$(0-0.13)\times 10^{-9}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_M middle neutrino*	$(0.009-0.13)\times 10^{-9}$	0
μ muon	0.106	-1
ν_H heaviest neutrino*	$(0.04-0.14)\times 10^{-9}$	0
τ tau	1.777	-1

Fonte: Adaptado da Internet

BÓSONS

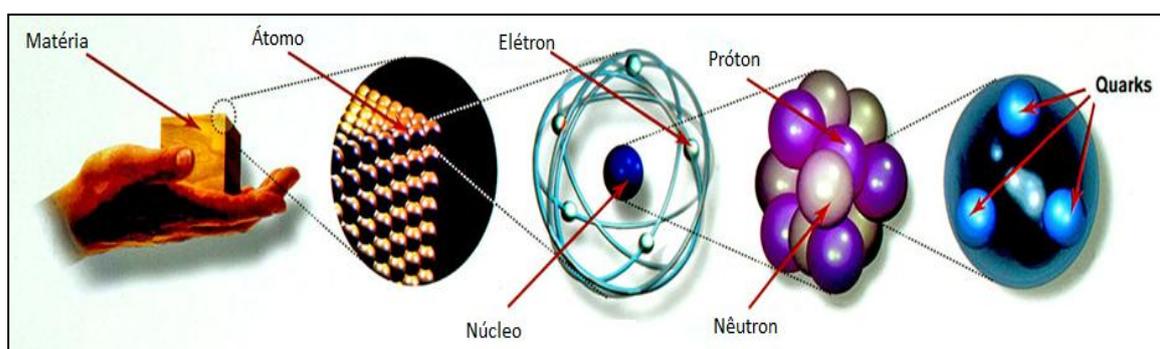
São partículas especiais de spin inteiro chamadas de mediadoras de força, de modo que, para cada **força fundamental** da natureza, existe uma ou mais partículas associadas. A partícula que transporta a Força Eletromagnética é o *Fóton*; a Força Nuclear Fraca é transportada pelas partículas conhecidas por W^+ , W^- e Z^0 ; enquanto a Força Nuclear Forte é transportada pelos *Glúons*. Assim, temos nessa categoria temos oito tipos de *Glúons* mediando as interações com os Quarks e mais quatro *Bósons*, que estabelecem mais doze elementos à totalidade das partículas elementares. O Modelo Padrão não inclui a gravidade, embora alguns teóricos tivessem proposto a existência do *Graviton* como partícula mediadora da *interação gravitacional* (BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2010, P.33).

Outra característica que estava pendente nas versões precedentes do Modelo Padrão é a explicação para a origem da massa das partículas fundamentais, uma vez que a massa de átomos é amplamente explicada pelo uso da equação $E = mc^2$ de Einstein. No modelo padrão, a origem das massas está relacionada ao mecanismo de Higgs, que se lança da premissa de que o Universo é saturado com um campo denominado campo de Higgs que interage mais com algumas partículas do que com outras. O Bóson de Higgs é a partícula elementar, teoricamente surgida logo após o Big Bang, de escala maciça hipotética predita para validar o modelo padrão atual, que representa a chave para explicar a origem da massa das outras partículas elementares. Essa partícula foi provisoriamente confirmada em março de 2013.

ERAS HADRÔNICA E LEPTÔNICA

Ocorreu entre 10^{-7} e 1 s após o *Big Bang*, marcada pelo resfriamento de 10^{13} K para 10^{11} K. A Era Hadrônica, também conhecida como Era das Partículas pesadas, ocorreu no período de 10^{-7} e 10^{-3} segundos. Nesse período, o Universo estava inundado por um fluido contínuo e denso de alta temperatura formado de quarks, antiquarks e glúons chamado de “plasma quark-gluon”, também conhecido como “matéria de quark”. A partir dele, os hádrons foram agregados e então foi possível o surgimento dos píons, núcleons (prótons e nêutrons), anti-núcleons, assim como outros hádrons e suas anti-partículas. Durante esse período, os léptons também existiam, contudo o Universo era dominado pela presença dos hádrons, que se aniquilaram mutuamente a suas anti-partículas, dando início a era de dominação dos léptons.

A Era Leptônica ou Era das Partículas Leves ocorreu entre 10^{-3} s e 1 s. Nela, a temperatura continuava a cair, atingindo cerca de 10^{11} K, porém permanecia alta o suficiente para permitir a produção dos pares elétron-pósitrons. Esses pares foram continuamente criados e aniquilados consolidando uma crescente troca de energia entre fótons, pares elétron-pósitrons e neutrinos, que existem em aproximadamente números iguais.



Fonte: Adaptado de www.bibliotecapleyades.net/imagenes_ciencia/colisionadorhadrones25_03.jpg

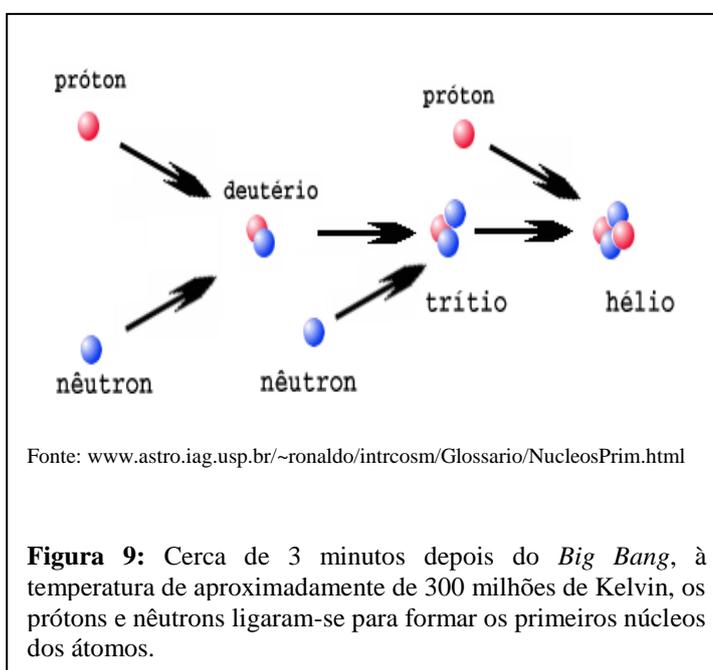
Figura 8: Pelo que sabemos hoje, são as partículas fundamentais constituintes da matéria, os léptons e quarks.

Em meio a esse denso fluido de fótons e léptons, também estão os núcleons, contudo em uma proporção 10^9 vezes menor, ou seja, para cada núcleon existe aproximadamente um bilhão de fótons, um bilhão de elétrons e um bilhão de neutrinos. Não obstante, através da maior parte da *Era Leptônica*, o número de prótons supera ligeiramente o de nêutrons. Ao colidir com um lépton, o nêutron captura um pósitron e se torna um próton, ao passo que, se a colisão com o lépton ocorre com um próton, ele captura um elétron e se torna um nêutron, fenômeno que

ocorre de maneira proporcional. Ao final, muitos elétrons não têm energia suficiente para converter prótons em nêutrons, enquanto que a conversão de nêutrons em prótons por bombardeamento de pósitrons é muito mais fácil – como consequência disso ao final da Era Leptônica existia somente dois nêutrons²⁸ para cada 10 prótons.

ERA DA NUCLEOSSÍNTESE

Ocorreu no período de 1 segundo até 3 minutos após o *Big Bang*, a Nucleossíntese Primordial estabelece a fase na qual a composição química do Universo é estabelecida. A diminuição relativa da temperatura permitiu a gênese de prótons e nêutrons, que a partir dos 3 minutos de idade do Universo começaram a associar-se, dando os primeiros passos para o equilíbrio entre matéria e radiação. Por conta da expansão do Universo, a temperatura caiu para 10^9 K. Com essa redução energética, os elétrons e os pósitrons passaram a não existir em grandes quantidades, possibilitando a fusão dos prótons e nêutrons em outros núcleos e a formação do Deutério (isótopo do Hidrogênio).



Com o contínuo declínio da temperatura, os Deutérios lançam-se à captura de nêutrons e formam Trítio, que por sua vez capturam prótons constituído o Hélio. O Universo passa então a ser preenchido por uma enorme quantidade de Deutério e Hélio, e os processos de fusão não cessam até que todos os nêutrons tenham sido incorporados, e os prótons remanescentes, ao não encontrar mais qualquer nêutron, tornam-se o Hidrogênio, encontrado na natureza.

²⁸ Um nêutron é aproximadamente 0,14% mais pesado do que um próton. De modo que quando em estado livre ele é capaz de decair em um próton e um elétron. Entretanto, uma quantidade maior de energia é necessária para criar um nêutron em comparação ao próton, o que explica na Era Leptônica a existência mais duradoura de um próton que um nêutron.

ERA DA RECOMBINAÇÃO

Ocorreu do terceiro minuto até 380 000 anos após o *Big Bang*. Durante esse tempo, pouco a pouco os elétrons se unem aos núcleos já formados para constituírem os átomos. A temperatura cai para a ordem de 10^3 K. Com a diminuição da energia, o Universo deixa de ser opaco e torna-se transparente, de modo que os fótons passam a fluir livremente pelo espaço, momento em que a Radiação Cósmica de Fundo é emitida. Inicia-se o domínio da matéria sobre a radiação. (SOUZA, 2004, p.197)

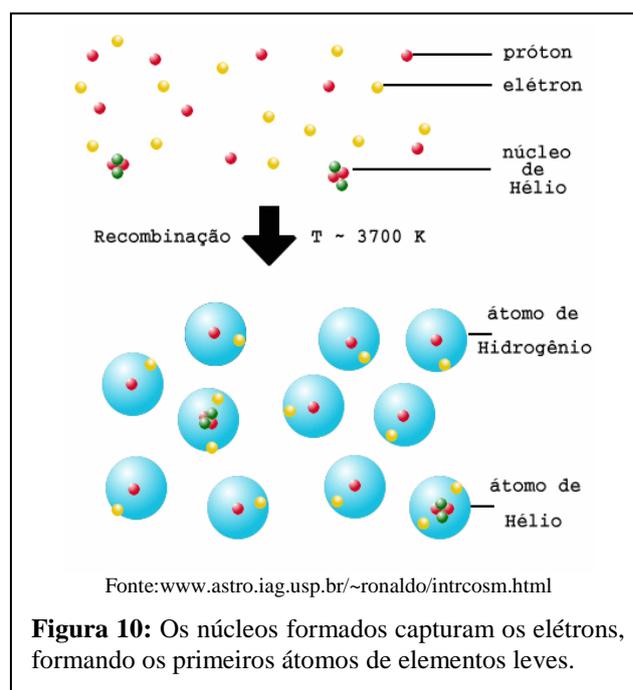


Figura 10: Os núcleos formados capturam os elétrons, formando os primeiros átomos de elementos leves.

Após essa época e até o Universo atingir cerca de 300.000.000 anos, apesar de transparente, o Universo torna-se escuro, mergulhando na chamada “Era das Trevas” devido à inexistência de corpos brilhantes. A evolução continua, e pouco a pouco as estrelas vão surgindo. Quando o Universo atinge um bilhão de anos, sua temperatura chega a 20K, e as galáxias são formadas. Aos três bilhões de anos, estima-se a formação tardia de grandes estruturas, como os aglomerados de galáxias.

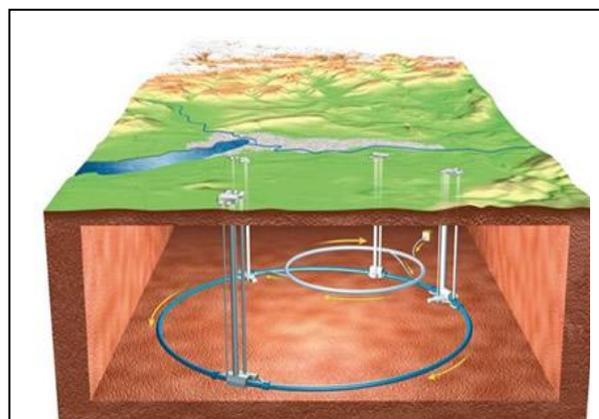
Aos 8,7 bilhões de anos, o Sol surge como uma estrela, iniciando a formação de nosso sistema planetário. Com a expansão contínua confirmada, ao atingir 10 bilhões de anos, a enigmática *Energia Escura* assume o controle passando a acelerar a expansão e ditar os rumos do Universo. Tais informações fornecidas pelas literaturas encontradas são resultado de anos e anos de estudos empenhados de cientistas que continuam na busca pela compreensão da origem, da evolução e do futuro desse magnífico *Cosmos*.

O LHC – GRANDE COLISOR DE HÁDRONS

No que se refere à Física da atualidade, um dos maiores e mais importantes centros de pesquisa é o CERN, Organização Europeia para Pesquisa Nuclear, onde foi construído o mais

recente mecanismo para investigar mais profundamente a natureza, o LHC (*Large Hadron Collider*) – em português, Grande Colisor de Hadróns.

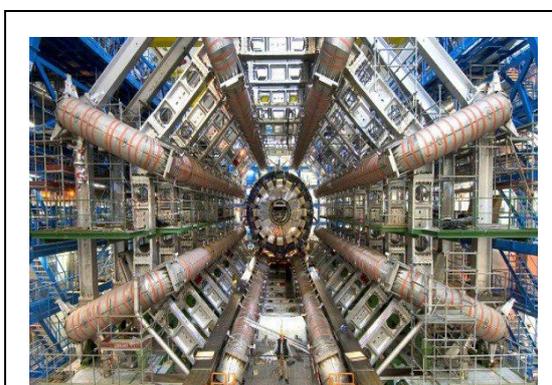
O LHC foi construído com o objetivo de possibilitar o que os colisores já contruídos não haviam conseguido: o acontecimento de colisões entre partículas a energias extremamente altas, mais especificamente, colidir dois feixes de prótons um contra o outro ou entre dois feixes de íons pesados. Para isso, um túnel circular de 27 km de circunferência foi construído a aproximadamente 50 a 75 m abaixo do solo, na região de Genebra, fronteira entre a França e a Suíça (Figura 11).



Fonte: www.mundoeducacao.com/quimica/lhc-maior-acelerador-particulas-mundo.htm

Figura 11: Desenho esquemático de construção da estrutura do LHC

Com o estudo dessas colisões busca-se encontrar evidências que permitam esclarecer algumas questões relacionadas à origem da massa das partículas elementares com o bóson de Higgs, a expansão acelerada do Universo a partir da energia, a existência de supersimetrias e a discrepância entre as medidas de massa de galáxias. Estima-se que a contribuição do LHC será imprescindível para a confirmação de teorias já existentes, ou mesmo a construção de outras no que tange aos conhecimentos associados à compreensão do universo subatômico até a origem e formação do Universo Cosmológico (PEREIRA, 2011).



Fonte: www.veja.abril.com.br/noticia/ciencia/fisicos-descobrem-nova-particula-elementar-da-materia

Figura 12: Grandiosidade do ATLAS evidenciada na comparação das suas dimensões com a altura de um adulto.

Em uma escala de dimensão ínfima das partículas elementares, a observação é feita através da detecção de energia. Assim, os aceleradores são usados para aumentar a energia das partículas antes da colisão e as partículas são aceleradas no LHC com velocidades que correspondem a cerca de $0,999999991c$, onde c é a velocidade da luz no vácuo, com energia da ordem de 7TeV cada feixe. Dessa forma, um ambiente semelhante ao que aconteceu

trilionésimos de segundos após o *Big Bang* é criado, oferecendo importantes indícios sobre a natureza da matéria (BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2010. P.26).

De acordo com Balthazar e Oliveira (2010), para acelerar as partículas há no LHC aceleradores lineares do tipo LINAC (Linear Particle Accelerator) e também o um Síncroton de Prótons PS (Proton Synchrotron) que aumenta a velocidade, de modo que partículas descrevam uma trajetória circular, além de seis detectores:

- **CMS (Compact Muon Solenoid)** - é um detector de múons que permite também detecções de fótons, elétrons, hádrons e também a identificação de neutrinos;
- **ALICE (A Large Ion Collider Experimental)** - detector para o estudo das colisões de íons de chumbo, no qual são estudados quarks e glúons em estados não confinados;
- **ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus)** - é um detector onde feixes de prótons de caráter geral tem o objetivo de procurar o bóson de Higgs, dimensões extras e partículas que poderiam constituir a *Matéria Escura* (Figura 12);
- **LHCb (Large Hadrons Collider beauty)** - se refere ao *quark bottom* (quark b), desenvolvido para medidas precisas da violação de simetria de carga e paridade, entre matéria e anti-matéria, explicado pelo mecanismo matemático que originou o *mecanismo e Higgs*;
- **LHCf (Large Hadrons Collider forward)** – Instalados próximo ao ATLAS, estudam as partículas em colisão sob um ângulo próximo de zero com objetivo de simular os raios cósmicos em condições de laboratório;
- **TOTEM (Total Elastic and diffractive cross section Measurement)** - Instalado dentro do CMS, assemelha-se ao *LHDf*. Foi projetado para tomar medidas precisas sob um ângulo ínfimo para investigação dos próprios prótons a partir das colisões. A região estudada é conhecida como a direção “*para frente*”, inacessível por outros experimentos do LHC.

Na construção que levou 14 anos, foram investidos aproximadamente oito bilhões de dólares, e o LHC é hoje considerado o maior instrumento de investigação científica já construído. Os eletroímãs supercondutores usados para conduzir os feixes de prótons que atingem a velocidade de 99,99% a velocidade da luz funcionam a ultra-vácuo e são mantidos a temperatura de aproximadamente $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$, acarretando um consumo de energia anual de aproximadamente 800 GWh (BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2010. P.29).

REFERÊNCIAS

BALTHAZAR, W. F; OLIVEIRA, A. L. **Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2010.

MARTINS, R. A. **O universo: teorias sobre sua origem e evolução**. 2.ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

GREENE, B. **O Universo elegante**. São Paulo: Cia das Letras, 2001.

HORVATH, J. et al. **O ABCD da Astronomia e da Astrofísica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

PEREIRA, M. M. LHC: o que é, para que serve e como funciona. **Física na Escola**, v. 12, n. 1, 2011.

RODRIGUES, D.M. **As Interações Fundamentais da Natureza**. 2010. 45 f. Trabalho de conclusão de curso – Física Ambiental, Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Dourados, 2010.

SOARES, D. S.L. Astronomia & Astrofísica em Português. **Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira**. v. 20, n. 3, pag. 57-60. 2001. Disponível em <<http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/aap/aap.html>>. Acesso em: 04/11/2014.

SOUZA, R. E. **Introdução à Cosmologia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

TURNER, M. S. A Origem do Universo. **Scientific American Brasil**. Fronteiras da Física 4. Edição Especial, n.4, p.70 – 77.

VILLELA, T. Cosmologia: A aventura espetacular da descoberta do cosmos. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 36, p. 20 – 28. 2005.

WAGA, I. 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.

Vídeos sugeridos:

Big Bang – ABC da Astronomia. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=CH24yfMrA94>>. Acesso em 04/11/2014.

Rap do LHC. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=bVLpf1z836Q>>. Acesso em 04/11/2014.

CAPÍTULO 4 – “A COMPOSIÇÃO DO UNIVERSO

E SEU FUTURO”

DO QUE O UNIVERSO É CONSTITUÍDO?

Os termos “radiação”, “partículas elementares” e “teoria da relatividade” são utilizados mais frequentemente na mídia de hoje com o advento de novas tecnologias. Tais termos, conceitos da Física Moderna, têm despertado cada vez mais a curiosidade dos jovens da atualidade. Frente a isso, é notável a necessidade da inserção desses e de outros tópicos relacionados à Ciência Contemporânea nas aulas do ensino médio.

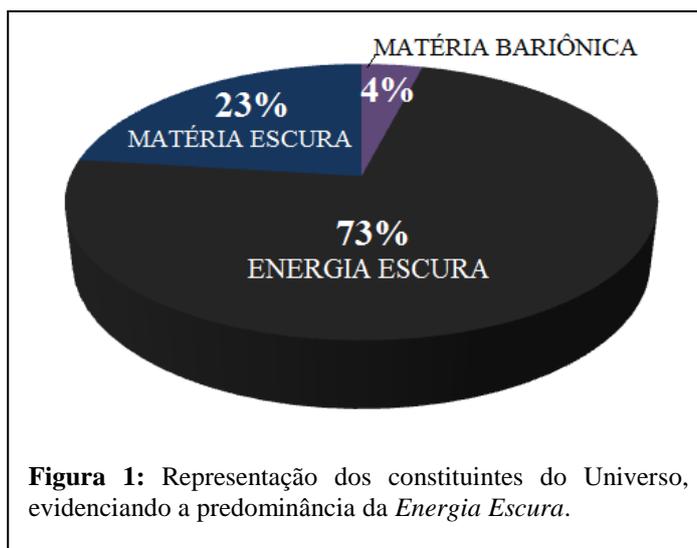
A maior parte dos indivíduos que passam pela educação básica aprende que os corpos são formados por átomos e que estes são constituídos prótons, nêutrons e elétrons. Muitos deles findam esse segmento de ensino sem ter conhecimento de que prótons e nêutrons não são partículas elementares como o elétron (um lépton), pois são formados por outras partículas: os quarks.

MAS AFINAL DE CONTAS, DE QUE É CONSTITUÍDO O UNIVERSO?

A descrição dos componentes do Universo pode ser feita de forma sucinta em três classes que não interagem, representando todas as formas de matéria conhecidas. A primeira delas é a *Radiação*, incluindo todas as partículas relativísticas da natureza, em especial fótons e neutrinos. O segundo importante constituinte do *Cosmos* é chamado de *Matéria Não Relativística*, subdividida em Matéria Bariônica e Matéria Não-Bariônica (falaremos um pouco mais sobre elas no curso deste texto). A terceira e intrigante componente do Universo é uma forma de energia misteriosa, chamada de *Energia Escura*, que será um dos objetos de estudo deste capítulo.

De maneira antagônica, ao passo que a Cosmologia alcança um estágio de grande evolução no conhecimento do Universo, ela afirma que a maior parte do Universo é feita de algo que ainda não compreendemos: a *Matéria Escura* e a *Energia Escura*. A natureza desses misteriosos constituintes do Universo é ainda uma das questões que continua em aberto na Cosmologia.

Estudos recentes apontam que apenas 4% do total de massa do Universo é constituída de matéria bariônica como conhecemos, formada por prótons, nêutrons e elétrons; os 96% restantes não são visíveis aos nossos telescópios e são integrados por matéria e energia escuras, dos quais 23% é *Matéria Escura* e 73% *Energia Escura*, como é possível observar na figura 1.



Essas novas formas de matéria e energia com características desconhecidas ainda não foram detectadas pelos instrumentos de observação utilizados atualmente. Sua existência é reconhecida devido aos efeitos que causam na matéria visível. Vejamos um pouco mais sobre esses misteriosos componentes do Universo.

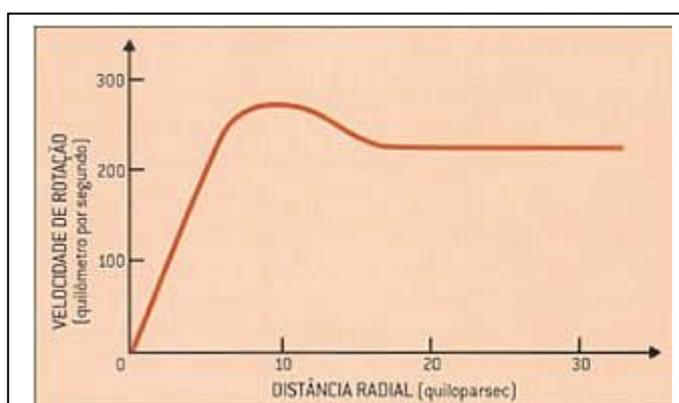
A MATÉRIA ESCURA

A possível existência *Matéria Escura* nos aglomerados de galáxias é suposta há mais tempo do que imaginamos. Em 1933, **Fritz Zwicky** ao estudar os movimentos em um conjunto de aglomerados de galáxias distantes – como o da “Cabeleira de Berenice” – observou que a velocidade dessas galáxias era maior do que era esperado e por isso deveria existir uma massa maior que a observada provocando tal efeito. Na década de 70, Vera Rubin e seu colaborador Kent Ford, no Observatório Nacional de Kitt Peak - Arizona mediram a velocidade de rotação de várias galáxias distantes usando o método do deslocamento Doppler. Em seus resultados, concluíram que as estrelas situadas na periferia das galáxias tinha praticamente a mesma velocidade de rotação que as mais próximas de sua região central, fato que para não contrariar a Mecânica Newtoniana seria explicado pela existência uma quantidade de matéria superior àquela que podemos enxergar (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2010, P.381).

De forma primária, a massa de uma galáxia é calculada por aproximação, com base em sua luminosidade: quanto mais luminosa for a galáxia, maior o seu número de estrelas e conseqüentemente elas serão mais massivas. Contudo, esse não é o único método para se avaliar a massa de uma galáxia, também há a possibilidade de se analisar o seu movimento de

rotação, que compreende todas as suas estrelas, característico das “galáxias em espiral”. Em tal movimento de rotação, a velocidade de cada estrela está relacionada à proporção de massa galáctica presente em sua órbita e à sua distância do centro da galáxia. O estudo desses movimentos feito de forma sistêmica possibilita aos astrônomos e cosmólogos estimarem a massa total das galáxias em espiral. De forma análoga ao que ocorre em nosso sistema solar, ao se examinar os espectros das estrelas de uma galáxia em espiral, espera-se observar que as estrelas localizadas nas bordas da galáxia se movam com menor velocidade do que as mais internas, isto é, que por estarem mais distantes do centro apresentem uma curva de rotação galáctica²⁹ crescente.

Outra forma de se indicar a massa de aglomerados de galáxias – além das Curvas de Rotação – foi introduzida na década de 80 e se baseia no que elas produzem na luz que passa em sua proximidade, de acordo com os preceitos da Relatividade Geral. Tais deflexões formam o que chamamos *lentes gravitacionais*, em que o desvio da luz se dá como uma função crescente associada à porção de massa



Fonte: Scientific American Brasil, ano 1, n. 3, p.29, 2002

Figura 2: A curva de rotação que evidencia o crescimento do valor da velocidade até um máximo, seguida de uma diminuição que conduz a uma estabilização. Fenômeno este explicado pela suposição da existência de matéria escura.

o provoca. No entanto, tais medidas previstas por Einstein e observadas pelos telescópios evidenciaram a presença de uma quantidade de matéria superior àquela emitida por meio da radiação eletromagnética.

No entanto, para surpresa dos astrônomos e cosmólogos, o comportamento é diferente do esperado: tomando-se a região central da galáxia como referência após uma linearidade no crescimento, a curva de rotação galáctica assume um valor constante ao se aproximar da extremidade da galáxia. Isto é, as estrelas orbitavam um ponto central e todas giravam ao redor dele com a mesma velocidade, independentemente da distância.

Fazendo a mesma analogia com nosso sistema solar, seria como se todos os planetas do nosso sistema solar tivessem o mesmo período de translação, levando o mesmo tempo para dar uma

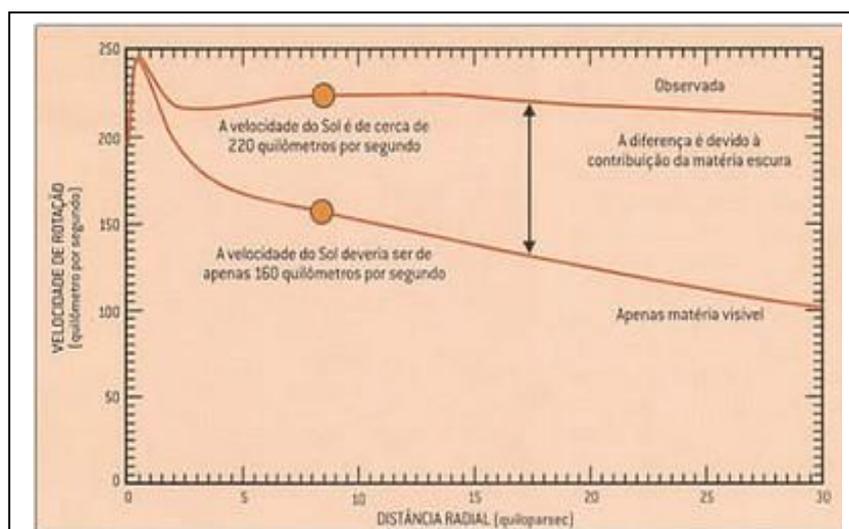
²⁹ Gráfico das velocidades das estrelas medidas em função de sua distância do centro da galáxia espiral.

volta completa em torno do Sol. Diante disso, um questionamento é inevitável, qual o agente responsável por tal comportamento?

A explicação dada pelos estudiosos do *Cosmos* gira em torno da existência de uma quantidade significativa de matéria não luminosa, a chamada *Matéria Escura*, nas regiões externas à galáxia, que compensaria a diminuição da velocidade esperada dando às estrelas uma velocidade constante e à curva rotação da galáxia um caráter plano. Como a *Matéria Escura* não é visível, dentro do campo das suposições para se obter o comportamento plano, sua distribuição é considerada de modo que a parte visível da galáxia em questão esteja envolvida por um *halo esférico de Matéria Escura*.

Tomemos como exemplo a Via Láctea, uma singular galáxia em espiral brilhante, segundo Caraveo e Roncadelli (2002,p.28). Ao seu redor existe uma quantidade de *Matéria Escura* estimada em cerca de 10^{12} massas solares, o que indica que a quantidade deste tipo de matéria é pelo menos 10 vezes superior àquela da matéria luminosa quando comparada com sua massa luminosa, cerca de 7×10^{10} massas solares.

Na figura 3, é possível observar a comparação entre as curvas de rotação galáctica medida da Via Láctea e a que se esperaria sem a existência de matéria não luminosa.



Fonte: Scientific American Brasil, ano 1, n. 3, p.29, 200.

Figura 3: Confronto entre a curva de rotação medida da Via Láctea e a que se esperaria se a galáxia fosse constituída somente de matéria visível.

No caso da “Cabeleira de Berenice”, objeto de estudo de **Fritz Zwicky**, encontramos uma massa total de $9,6 \times 10^{14}$ massas solares, contra uma massa luminosa de $1,4 \times 10^{13}$ massas solares. Portanto, a quantidade de *Matéria Escura* é 60 vezes maior do que a da matéria luminosa. (CARAVEO; RONCADELLI, 2002, p.30).

O QUE SE SABE SOBRE ESSA MISTERIOSA MATÉRIA NÃO LUMINOSA?

Grande parte das informações cruciais sobre quantidade e qualidade da *Matéria Escura* existente são alcançadas por meio do estudo das propriedades do Universo como um todo. De acordo com o modelo cosmológico padrão (MCP), dentro de suas especificidades, o Universo constitui um espaço de curvatura constante, com possibilidade de expansão ou contração em sua evolução.

Se $\Omega < 1$: a curvatura espacial é negativa e a expansão continuará para sempre;

Se $\Omega > 1$: a curvatura é positiva e, a partir de certo momento, o Universo começará a se contrair, até atingir um estado singular simétrico ao Big Bang.

Se $\Omega = 1$: a densidade média é exatamente igual à crítica, o Universo é espacialmente plano e a taxa de expansão se reduzirá progressivamente a zero.

Voltamos à analogia do balão que pode ser inflado ou esvaziado. Sua superfície é o análogo bidimensional para a curvatura do espaço, sendo a superfície externa com curvatura positiva e a interna correspondente a um espaço de curvatura negativa. Nesse sentido, sabendo que a geometria do Universo e sua evolução dependem de forma direta da matéria nele existente, em uma escala cósmica, a densidade média de matéria é expressa em termos do parâmetro de densidade cósmica Ω , que é definido pela relação entre a densidade medida e a chamada densidade crítica³⁰ (Ω_c). A possibilidade de medir Ω é advinda do estudo da radiação cósmica de fundo (RCF), que permeia todo o Universo como resíduo fóssil do *Big Bang*.

Algumas informações de grande precisão oferecidas pela RCF foram decodificadas pela missão Boomerang implicaram $\Omega = 1$ e considerando que a avaliação da densidade de todos os bárions feita a partir dos mesmos dados corresponde a um valor para Ω de aproximadamente 0,05 – com base na nucleossíntese fundamentada no MCP – e que a quantidade de bárions luminosos, nossos conhecidos prótons e nêutrons, no Universo corresponde a uma densidade cósmica Ω que não ultrapassa o valor de 0,005, podemos afirmar não só que vivemos em um Universo euclidiano, mas também que a matéria luminosa é insignificante em relação à matéria invisível. Ou seja, 96% da massa do Universo é constituída de matéria não bariônica e 90% dos bárions não são luminosos. (CARAVEO; RONCADELLI, 2002, p.32).

³⁰ Característica de um Universo com curvatura nula, ou seja, um espaço euclidiano.

O QUE CONSTITUEM A MATÉRIA ESCURA BARIÔNICA E A NÃO BARIÔNICA?

MATÉRIA ESCURA BARIÔNICA

Ao se falar da composição da *Matéria Escura Bariônica*, ou mesmo *bárions escuros*, muitas hipóteses foram levantadas. A mais natural delas admitia que se tratava de estrelas ou nuvens de gás existentes nos halos galácticos que escapavam da observação por emitirem uma radiação muito fraca. Assim, através do fenômeno de *lentes gravitacionais*, que permite procurar compactos objetos de baixa luminosidade no halo de nossa galáxia, como anãs marrons e buracos negros, foi levantada a hipótese de que os MACHOs (*massive compact halo objects*) constituiriam parte da *Matéria Escura*.

O efeito de *lente gravitacional* produzido por um MACHO é conhecido como *microlente* e só pode ser observado devido à ampliação atribuída ao brilho da estrela. À medida que a lente se move, o brilho da estrela aparentemente aumenta e depois diminui. Tal variação do brilho independe do comprimento de onda observado, o que permite distinguir efeitos de microlentes de estrelas variáveis³¹. Projetos como o MACHO, OGLE, MOA e EROS monitoraram milhões de estrelas no intuito de observar eventos de *microlentes*, no entanto a os resultados esperados não foram alcançados pois não ocorreram eventos e microlentes como esperado, o que levou à conclusão de que, aparentemente, a maior parte da massa no halo escuro das galáxias não é constituída por MACHOs.

Os efeitos de miragens gravitacionais podem não ser o único recurso existente para os caçadores de *Matéria Escura Bariônica*. Quando se considera a possibilidade de nuvens de gás bariônico frio constituírem uma parcela considerável em relação à *Matéria Escura* presente no halo galáctico, a intensidade da emissão dos Raios Gama, produzidos na colisão dos prótons de seus núcleos com os prótons de alta energia existentes nos raios cósmicos, deveria ser facilmente detectável com os instrumentos atuais, pois as nuvens de gás frio facilmente escapam aos radioastrônomos, mas a radiação não. Com o aprimoramento da resolução dos reveladores gama, tal intensidade de radiação poderia então ser detectada e fornecer mais informações deste tipo de *Matéria Escura*. (CARAVEO; RONCADELLI, 2002, p.33)

³¹ Estrela variável é uma estrela cuja luminosidade varia em uma escala de tempo menor que 100 anos.

MATÉRIA ESCURA NÃO BARIÔNICA

Esse tipo de matéria presente no *Cosmos* constitui uma das grandes incógnitas da Física Contemporânea. O Modelo Cosmológico Padrão ao abordar a abundância de elementos leves que sobreviveram à aniquilação que ocorreu nos primórdios do Universo – a exemplo dos bárions e neutrinos – e nos remete a uma reflexão acerca da existência de *Matéria Escura* sob a forma de uma nova classe de partículas, massivas e fracamente interagentes, não descritas pelo modelo padrão da Física de Partículas.

Um dos melhores candidatos para *Matéria Escura*, constituinte da *Matéria Escura não Bariônica*, são as WIMPs (*weakly interacting massive particles* – em português, Partículas Massivas de Interação Fraca), que são as novas partículas elementares previstas pela teoria eletrofraca³² e que em suposição não interagiriam com a luz, mas poderiam interagir com a matéria bariônica por meio de interações fracas.

Um tipo de WIMP citado nas teorias supersimétricas³³ é o *neutralino*, que é a mais leve das partículas supersimétricas. Outro candidato a partícula de *Matéria Escura* frequentemente considerado é o *axion*, que aparece na cromodinâmica quântica³⁴, com massa entre 10^{-5} e 10^{-2} eV, teria sua formação fora do equilíbrio termodinâmico e nunca teria sido relativística.

De uma forma geral podemos dizer que esse tipo de matéria pode ser caracterizada, do ponto de vista de sua interação com a radiação, em duas formas: *térmica* (as que permanecem em equilíbrio térmico até o momento em que se separam da radiação) e *não-térmica* (as que não são produzidas em equilíbrio térmico com o resto do Universo, como o caso dos axions). Nesses casos, quanto a “temperatura”, esse tipo de *Matéria Escura* pode ainda ser mais uma vez classificada como:

³² Modelo de Glashow-Weinberg-Salam, agraciado com o Prêmio Nobel de Física em 1979, que previa a unificação das interações fracas e eletromagnética.

³³ Na Física de Partículas, as **teorias supersimétricas** (ou mesmo supersimetria, abreviada como **SUSY**) relacionam uma partícula fundamental que possui um certo valor de spin a outras partículas com spins de valores diferentes da ordem meia unidade. Em suma, para cada partícula existiria um superpar, como exemplo para cada bóson existe um férmion correspondente com massa e números quânticos internos idênticos.

³⁴ Teoria relacionada à análise do comportamento dos quarks – partículas de spin $\frac{1}{2}$ constituintes da matéria – e dos glúons – partícula de spin 1 mediadora da força forte-, onde cada um deles porta um número quântico adicional, chamado carga de cor.

- **Matéria Escura Quente (*hot dark matter*):** relativística ao se desacoplar, por se mover rapidamente, facilmente escapa dos poços de potenciais, como candidato provável temos os *neutrinos massivos*;
- **Matéria Escura Fria (*cold dark matter*):** não-relativística ao se desacoplar, move-se lentamente, sendo as WIMPs com o *neutralino* e os *axions* os possíveis candidatos;
- **Matéria Escura Morna (*warm dark matter*):** tem propriedades intermediárias, relacionadas às matérias *escuras quente e fria*, apresentando o *gravitino* como principal candidato.

Devido à sua fraca interação com a matéria ordinária, as WIMPs presentes em nossa galáxia são de difícil detecção, pois seu efeito no interior de um detector pode ser facilmente confundido com a interação produzida pelos nêutrons dos raios cósmicos. Na tentativa de identificar esses candidatos exóticos são construídos detectores, normalmente a uma grande profundidade no solo terrestre, cerca de 2km abaixo da superfície. Os detectores funcionam nessas profundidades para evitar o ruído produzido por outras fontes de contaminação, pois, pelas suas características estimadas, a detecção necessita de instalações especialmente sensíveis, dessa forma a barreira de matéria de 2km de profundidade atuará como um filtro. (PIRES, 2002)

Entretanto, deve-se dizer que o método conceitualmente mais simples de demonstrar a existência das WIMPs é o de produzi-las em laboratório, tarefa para o *Large Hadron Collider* – LHC do CERN de Genebra. Ressaltamos que essa última estratégia não substitui as experiências subterrâneas, pois a revelação continua sendo a única maneira para conhecer a relevância astrofísica das WIMPs (CARAVEO; RONCADELLI, 2002, p.31).

A ENERGIA ESCURA

Repleto de centenas de bilhões de galáxias, nosso *Universo Observável* vai ficando cada vez maior. A expectativa geral era de que a expansão cósmica diminuiria gradativamente com o tempo, visto que as galáxias exercem a sua força gravitacional umas nas outras. Contudo, a partir de 1998, a análise conjunta dos dados da radiação cósmica de fundo juntamente com os *Redshifts* das supernovas³⁵ do tipo Ia trazem a informação de que o Universo na só está em

³⁵ Explosões colossais de estrelas gigantes no fim da vida, que provocam a liberação de uma quantidade enorme de energia na forma de gás em expansão.

expansão, mas também que a taxa à qual se expande está aumentando com o tempo, isto é, temos uma expansão acelerada. As supernovas oferecem a possibilidade de medição da velocidade de afastamento das galáxias que habitam. Por meio do desvio para o vermelho de seu espectro emitido, seu brilho determina a distância da explosão.

Dados fornecidos pelo satélite WMAP levaram à análise do espectro de potência da radiação cósmica de fundo, que estimulou os cientistas à conclusão da necessidade de uma componente difusa, que estaria distribuída uniformemente sem associação com a matéria observada (que domina a gravidade dando o efeito repulsivo que acelera o Universo). A essa componente foi dada o nome de *Energia Escura*, uma forma desconhecida de energia cuja densidade é praticamente – ou talvez exatamente – a mesma em toda a parte e que molda o destino do *Cosmos* de maneira quase que imperceptível (CONSELICE, 2007, p.35).

A *Energia Escura* pode ser a principal ligação entre diversos aspectos da formação das galáxias que pareciam desagregados. Tomando o *Universo Observável* inteiro, a primeira coisa que salta aos olhos é a sua distribuição de matéria em escalas cósmicas sob forma de um padrão de teia, um emaranhado de filamentos harmônicos com milhares de milhares de anos-luz de comprimento.

Tal padrão pode ser resultado direto da *Energia Escura*, uma vez que, se sua atuação fosse mais intensa, a expansão seria forte e a matéria teria se espalhado ao invés de constituírem os “filamentos”. Ou ainda se sua atuação fosse mais fraca, a matéria seria ainda mais concentrada do que é realmente, o que nos leva

EVIDÊNCIAS DA ENERGIA ESCURA

Explosões em Supernova

Através da simples extrapolação da velocidade de expansão atual descobriu-se que há bilhões de anos as galáxias se moviam mais lentamente do que se esperava. Esse aumento da velocidade de expansão de lá para cá configuraria uma marca registrada da *Energia Escura*;

Radiação Cósmica de Fundo

As manchas apresentadas nas imagens da radiação cósmica de fundo revelam a densidade do Universo como um todo. Os valores estimados superam qualquer quantidade de matéria existente no *Cosmos*, e a *Energia Escura* se encaixa nesse componente ainda não identificado;

Lentes Gravitacionais

Se uma fonte luminosa se encontra exatamente atrás de certo aglomerado, ela formará diversas imagens devido ao fenômeno de lente gravitacional. Quanto maior o tamanho do Universo – o que depende da quantidade de *Energia Escura* – mais provável é a ocorrência desse fenômeno. Estudos demonstraram o crescimento dos agrupamentos de matéria, evidenciando a *Energia Escura*;

Aglomerados de Galáxias

A evolução da massa dos aglomerados de galáxias é revelada em observações na frequência dos Raios-X. A *Energia Escura* se encaixa na explicação de como e quando eles se formaram.

(CONSELICE, 2007, p.37)

a acreditar que essa forma de energia carrega informações sobre como as galáxias se formaram. Segundo Conselice (2007, p.39), quando o Universo tinha a metade da idade atual, processos galácticos internos – energia liberada por supernovas e buracos negros – interrompiam a formação de estrelas e galáxias. Conforme o tempo avançou, o espaço se expandiu, promovendo o espalhamento da matéria e conseqüentemente o enfraquecimento da força gravitacional, ao passo que a força da *Energia Escura* permanecia constante, tornando a taxa de expansão do Universo de desacelerada em acelerada.

MAS O QUE PODE SER ESSA ENERGIA MISTERIOSA?

Considerando os modelos de *Energia Escura* encontrados na literatura atual, os possíveis candidatos discutidos para a componente misteriosa do Universo são a *Constante Cosmológica* (Λ) – interpretada como a densidade de *energia do vácuo* que permaneceria constante no tempo – e a *Quintessência*, que sofreria variações no decorrer do tempo.

A *Constante Cosmológica* (Λ) é assim chamada por apresentar uma densidade de energia, a “energia do vácuo”. Porém, esse candidato é acometido por dois problemas fundamentais: o *problema da constante cosmológica*³⁶ e o *problema da coincidência cósmica*³⁷, que levaram à necessidade do surgimento de outros modelos na tentativa de solucioná-los, associando modificação da gravidade ou da matéria. Apesar de sua simplicidade e levando em consideração a dificuldade em explicar por que a escala de energia da constante cosmológica – necessária para a aceleração do Universo – prevista pela Física de Partículas é cerca de 10^{121} vezes maior que a densidade de energia observada, o modelo Λ CDM³⁸ se mostra consistente com um grande número de observações realizadas.

Enquanto a *Constante Cosmológica* consiste em uma forma específica de energia – *energia do vácuo*, a *Quintessência* se refere a uma extensa classe de possibilidades e difere da

³⁶ Consiste no fato de as teorias quânticas de campo preverem um valor muito maior para a constante cosmológica, a partir do cálculo da energia do vácuo quântico, de modo que uma diferença da ordem de 10^{121} é estabelecida entre a observação e o previsto pela Teoria Quântica de Campos.

³⁷ Consiste no fato de que existe uma coincidência aproximada entre a densidade de energia do vácuo e a densidade de matéria no Universo atual.

³⁸ Modelo onde o meio cósmico consiste numa componente da matéria escura fria (*CDM: Cold Dark Matter*) com densidade da energia $\rho(m)$ e numa constante cosmológica Λ com densidade da energia $\rho(\Lambda)$.

constante cosmológica por seu caráter dinâmico, podendo variar no espaço e no tempo assumindo uma pressão negativa capaz de acelerar a expansão do Universo.

O nome "*Quintessência*" deriva do "quinto elemento" puro, o éter, que, segundo os filósofos gregos, permeava todo o Universo. Ele prevê uma aceleração do Universo ligeiramente mais lenta que a vista pela constante cosmológica. O modelo mais simples propõe a quintessência como um campo escalar dinâmico possuidor de uma equação de estado relacionando uma pressão p negativa – que geraria a força repulsiva que proporciona a expansão acelerada – e uma densidade energética ρ , que pode variar tanto no espaço como no tempo.

Não obstante a existência de campos escalares seja prevista pelas teorias de unificação das interações fundamentais da natureza – como a teoria das cordas quânticas – ela ainda não foi observada experimentalmente, mas também não foram apresentados argumentos válidos que nos levem a ignorá-la.

A *Energia Escura* continua a moldar o Universo, trazendo consigo o aparente “benefício” de que a aceleração impedirá o antigo temor de um colapso, e também o risco de não conseguirmos mais observar as galáxias mais distantes devido ao seu afastamento cada vez mais rápido. Há 17 anos, não sabíamos que 96% do Universo fugia a nossas observações. Hoje, para entender a *Energia Escura*, é necessário compreender por que ela faz parte do Universo. Todavia, ainda não temos uma pista clara, e nenhuma das explicações dadas consegue ser melhor que a outra. Desde 1998, milhares de objetos são observados, mas a resposta sempre é a mesma, porém com uma precisão maior.

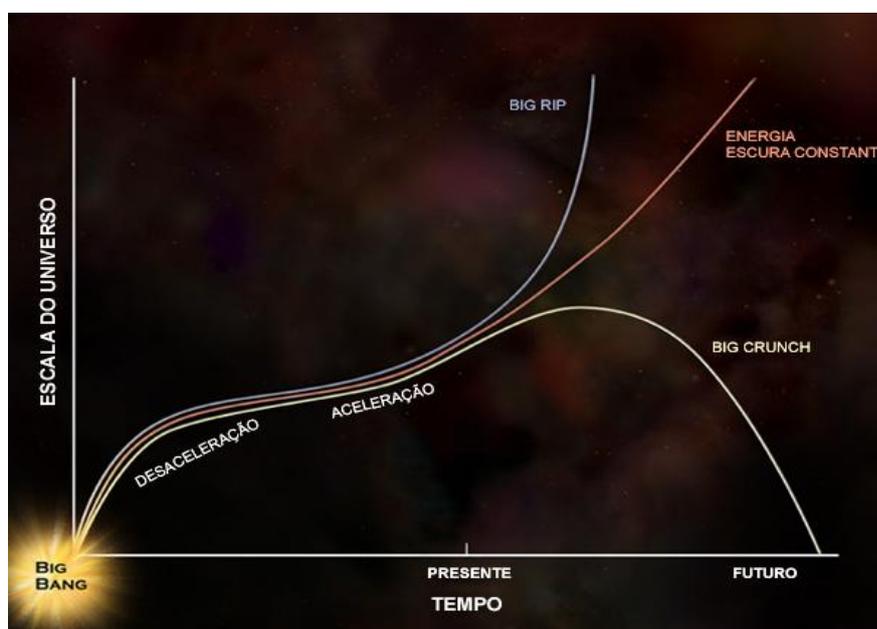
O DESTINO DO UNIVERSO

Atualmente a preocupação de muitos cosmólogos ainda está em apresentar o fascinante cenário que propiciou a origem de nosso Universo. Mas, o que podemos dizer quanto ao seu futuro? Existirá um fim para o Universo ou ele é eterno? O que significa isso? Para entrar na discussão desses temas se faz necessária e especulação com base na Física que conhecemos.

O problema do destino do Universo está diretamente ligado à quantidade de matéria que nele existe. É a matéria que determina se ele se expandirá eternamente, fazendo com que galáxias se dispersem cada vez mais, desaparecendo gradualmente, ou se ele recolapsará, concentrando novamente toda a sua matéria em uma singularidade do espaço-tempo.

Sabemos que o Universo é formado quase que em sua totalidade por hidrogênio e hélio produzidos nos três primeiros minutos do *Big Bang* e também que as estrelas se formam de nuvens de hidrogênio e converteram uma pequena parcela dele em hélio. A relativa abundância desses elementos no *Cosmos* nos fornecem hoje pistas observacionais cruciais para o entendimento da possível origem do Universo, porém no futuro, com o cenário previsto, mesmo que as estrelas continuem a converter a matéria, não teríamos mais essas informações. A Figura 04 traz uma estimativa relacionada ao destino desses alicerces do *Cosmos*.

Considerando a densidade cósmica do Universo, se a densidade total fosse maior que a densidade crítica (Ω_c), a *Energia Escura* inverteria o processo, levando a uma expansão lenta do Universo seguida por um recolapso, chamado de *Big Crunch*. Tomando valores da densidade cósmica menores que Ω_c , a *Energia Escura* cresceria e a expansão aconteceria eternamente, levando o Universo a uma catastrófica expansão que, em estimativa dentro de 100 bilhões de anos, romperia galáxias, estrelas e os próprios átomos, esse fenômeno seria chamado *Big Rip*. Já para o caso de um Universo euclidiano, com a densidade cósmica igual a Ω_c , a *Energia Escura* permaneceria constante, estimando-se que, de hoje a 100 bilhões de anos, apenas uma pequena quantidade de galáxias poderiam ser observadas.



Fonte: http://www.portaldoastronomo.org/tema_pag.php?id=25&pag=4

Figura 5: Num Universo com *Energia Escura*, a variação do fator de escala do Universo com o tempo depende da forma como esta varia no tempo.

A aceleração do Universo pressupõe que o espaço que consideramos “vazio” contém três vezes mais energia que todas as estruturas cósmicas já observadas até a atualidade, energia esta que poderia destruir o registro de seu passado. Os cosmólogos afirmam que impacto provocado pela *Energia Escura* no futuro do Universo será imenso, o que os leva a especulações de que o Universo se tornaria inóspito, onde a *Energia Escura* produziria uma superfície imaginária além da qual nem a matéria nem a radiação poderiam escapar, como um buraco negro às avessas.

MARCOS CÓSMICOS

10⁻³⁰ segundo

Ocorre a Inflação Cósmica

100 segundos

Hélio e Deutério são criados

400 mil anos

A radiação Cósmica de fundo em micro-ondas é liberada

8 bilhões de anos

A expansão começa a se acelerar

13,7 bilhões de anos

Hoje

20 bilhões de anos

A Via Láctea e Andrômeda colidem

100 bilhões de anos

Todas as outras galáxias se tornam invisíveis

1 trilhão de anos

Isótopos primordiais foram perdidos ou diluídos

100 trilhões de anos

Últimas estrelas se esfacelam

Scientific American Brasil, ano 6, n. 71, p. 38.

Assim, toda matéria do *Universo Observável* seria banida dele, fadando as galáxias mais distantes ao esquecimento. No início da aceleração, é possível ver uma quantidade de galáxias jamais vista. Ao passo que a nossa região observável aumenta, o Universo cresce como um todo numa velocidade ainda maior. Como consequência, observamos uma pequena fração do que nele existe. Galáxias não ligadas gravitacionalmente à nossa fogem ao campo de visão enquanto a gravidade atrai as mais próximas, e ao final seríamos uma “supergaláxia” em um imenso vazio (KRAUSS E SCHERRER, 2008, p.34).

Diante desses cenários possíveis, somos levados a uma conclusão não menos que estranha: tomando em conta o estreitamento de nossa janela de observação com a expansão acelerada, as civilizações futuras – admitindo que o planeta sobreviva – se basearão nos registros históricos e continuarão a ampliar esses registros. As que não tiverem acesso a esses registros estarão fadadas a ignorar – ou mesmo desconhecer – para sempre o *Big Bang*. (KRAUSS E SCHERRER, 2008, p.39).

Com as variáveis lançadas pela existência da *Energia Escura*, podemos afirmar que determinar o destino do Universo a partir das informações que temos se tornou uma tarefa quase impossível. Uma coisa é evidente: não seremos capazes de ter certeza do destino do

nosso Universo até conseguirmos complementar as observações com argumentos confiáveis que nos permitam compreender natureza e as propriedades da *Energia Escura*.

REFERÊNCIAS

CARAVEO, P.; RONCADELLI, M. O enigma da matéria escura. **Scientific American Brasil**. São Paulo, ano 1, n. 3, p.26-33, 2002.

CONSELICE, C. J. A mão invisível do Universo. **Scientific American Brasil**. São Paulo, ano cinco, n. 58, p. 34-41, 2007.

COSMOLOGIA. Disponível em:
<http://www.das.inpe.br/ciaa/cd/HTML/cosmologia/7_9.htm>. Acesso em 08/05/2015.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física 4: óptica e física moderna**. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

HORVATH, J. et al. **Cosmologia Física: do micro ao macro cosmos e vice – versa**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.

KRAUSS, L. M.; SCHERRER, R. J. O Fim Provável da Cosmologia. **Scientific American Brasil**. São Paulo, ano 6, n. 71, p. 32-39, 2008.

MATÉRIA Escura. Disponível em:
<http://www.astro.iag.usp.br/~laerte/form_ev_gal/materia_escura.pdf>. Acesso em 06/05/2015.

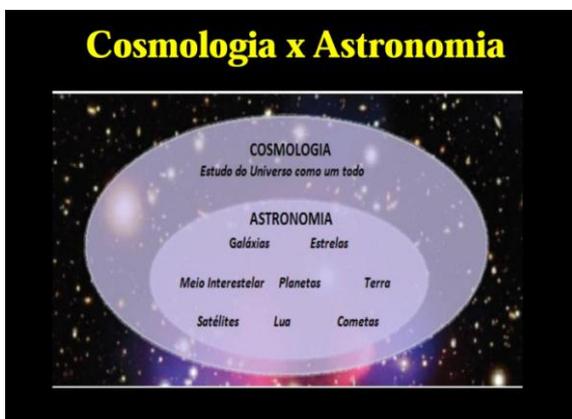
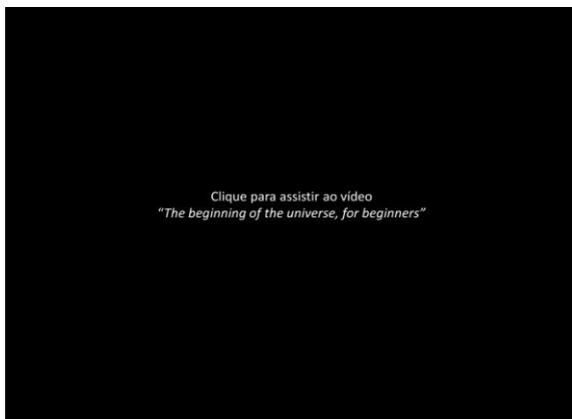
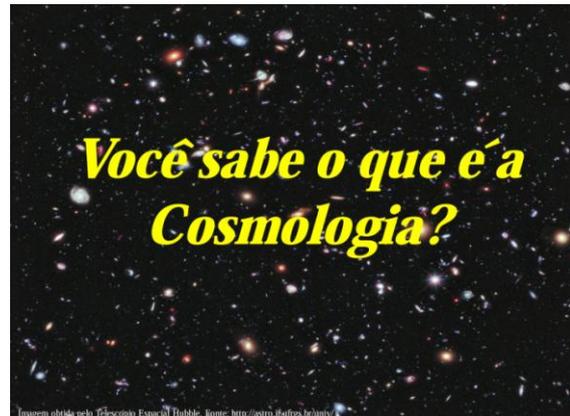
PIRES, C. M. T. **A matéria escura do Universo**. 2002. 55f. Dissertação (Mestrado em Física para o Ensino) – Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto.

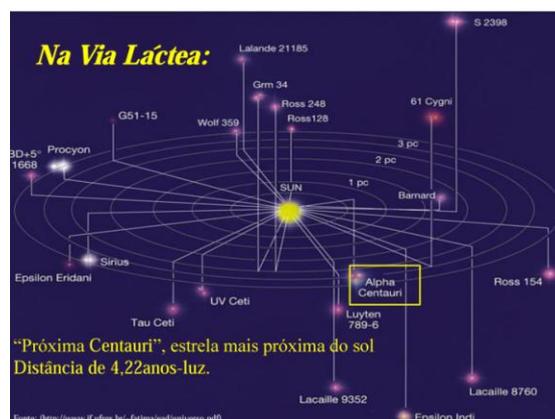
Vídeo sugerido:

O Universo (History) – 2 temporada - Matéria escura e energia escura (Episódio 06). Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=hyPcqTA6NT0>> acesso em 10/05/2015.

B – SLIDES DAS AULAS EXPOSITIVO-DIALOGADAS

B.a - “A Cosmologia e o Universo que Observamos”

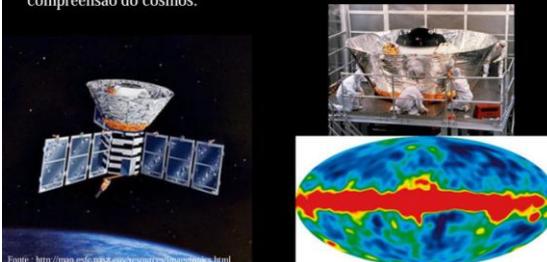






Cosmic Background Explorer (COBE)

O satélite "Explorador do Fundo Cósmico" - COBE, lançado em 1989 pela NASA, foi o primeiro satélite construído dedicado à Cosmologia. Está em órbita da Terra seu objetivo era investigar a radiação cósmica de fundo do Universo e fornecer medidas que pudessem ajudar na compreensão do cosmos.

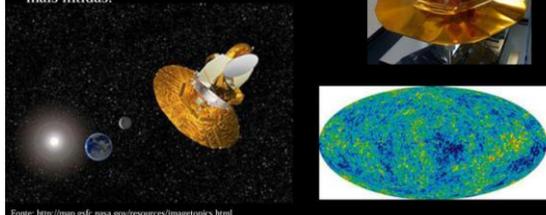


Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP)

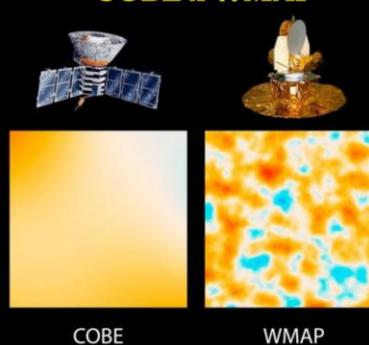
A sonda espacial de "Anisotropia de Microondas Wilkinson" - WMAP foi lançada pela NASA no dia 30 de junho de 2001.

Sua missão é testar as teorias sobre a origem e evolução do universo.

É sucessora do COBE, por oferecer imagens mais nítidas.



COBE x WMAP



Fonte: http://www.nasa.gov/mission_pages/planck/multimedia/pla16874.html#VQIZdo7E_T9

Referências:

Websites:

<http://www.ufmg.br/~fotma/cad/universo.pdf>
<http://astro.if.ufrgs.br/mbv/>
<http://www.apoliticalpress.org/qjPubPage.aspx?pub=1&issue=542>
<http://super.abril.com.br/galerias-fotos/veja-40-fotos-incriveis-tiradas-pelo-telescopio-especial-hubble-704590.shtml#12>
<http://www.on.br/>
<http://galileotelescope.org/>
http://www2.uol.com.br/sciam/multimedia/dez_tecscopos_que_mudaram_nossa_visao_sobre_o_universo.html
<http://www.ufmg.br/cef/camillebon/Aulas/Pages/4.html>
<http://www.fisica.ufmg.br/~dscares/reino/hubble.htm>
http://www.nasa.gov/mission_pages/
<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/>
http://www.spitzer.caltech.edu/images/2497_model2_Scale-Model-of-Spitzer

Vídeos:

The beginning of the universe, for beginner. Direção: Tom Whyntie. Produção: TedEd. Disponível em: <http://ed.ted.com/lessons/the-beginning-of-the-universe-for-beginners-tom-whyntie/watch>

VIAGEM Cósmica. Direção: Bayley Silleck. Produção: IMAX-Warner Vídeo. Los Angeles: Warner Bros, 1996. 1 DVD

B.b - “O Universo em Expansão”

O Universo está mesmo em Expansão?

Fonte: http://www.nasa.gov/content/most_colorful_view_of_universe_captured_by_hubble_space_telescope/#.VQiyE1TF_TB

Os avanços da Cosmologia possibilitaram, dentro da comunidade científica, a consolidação do **Modelo Cosmológico Padrão**, o Modelo do “Big Bang”.

Modelo Cosmológico Padrão

- Expansão do Universo a partir de uma singularidade;
- Considera aspectos de diferentes áreas da Física, como relatividade geral, a física atômica, quântica, nuclear, de partículas elementares e da gravitação.

Fonte: http://www.nasa.gov/content/most_colorful_view_of_universe_captured_by_hubble_space_telescope/#.VQiyE1TF_TB

Mas afinal, o que é um Modelo Cosmológico?

Pôdemos dizer que é um conjunto de conhecimentos – hipóteses, leis e teses – usados para descrição do Universo, desde a sua origem e evolução das estruturas observadas no Cosmos.

Fonte: http://www.nasa.gov/content/most_colorful_view_of_universe_captured_by_hubble_space_telescope/#.VQiyE1TF_TB

O Princípio Cosmológico

Tomada como pressuposto básico do **Modelo Cosmológico Padrão**, o **Princípio Cosmológico**, sustenta a hipótese de que, **em grande escala**, o Universo é:

- ↳ **Homogêneo** – tem a mesma densidade em todo lugar;
- ↳ **Isotrópico** – tem a mesma aparência em qualquer direção.

Dessa forma, é possível afirmar que:

Não há lugar privilegiado no Universo.

E não é possível afirmar que estamos em uma posição central

Fonte: http://www.nasa.gov/content/most_colorful_view_of_universe_captured_by_hubble_space_telescope/#.VQiyE1TF_TB

Mas será que o Modelo Cosmológico Padrão é o único?

Existem outros Modelos Cosmológicos que considerem hipóteses diferentes?

Fonte: http://www.nasa.gov/content/most_colorful_view_of_universe_captured_by_hubble_space_telescope/#.VQiyE1TF_TB

Modelos Cosmológicos

Universo Estático

- ↳ Newton e as forças gravitacionais
- ↳ Einstein e a Teoria da Relatividade Geral

Universo em Expansão

- ↳ Friedmann e Lemaitre, com a base teórica
- ↳ Hubble, com a observação

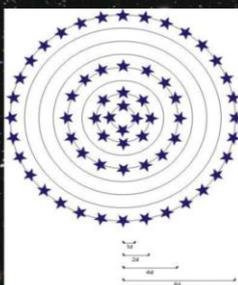
Fonte: http://www.nasa.gov/content/most_colorful_view_of_universe_captured_by_hubble_space_telescope/#.VQiyE1TF_TB

Modelo de Newton

Para ele a Gravidade é uma força de **atração** entre corpos dotados de massa;

O Universo seria:

- Infinito
- Homogêneo
- Estático



Fonte: <http://www.fisica.ufmg.br/~gustavo/ensino/fis040/le04/le04.html>

Fonte: http://www.nasa.gov/content/most_colorful_view_of_universe_captured_by_hubble_space_telescope/#.VQiyE1TF_TB

Modelo de Einstein

Em sua **Teoria da Relatividade Geral**, afirmou que a Gravidade não seria uma força, mas sim uma manifestação da matéria e energia moldando o Espaço – Tempo

Para ele o Universo era:

- Finito
- Homogêneo
- Estático – seguindo os padrões da época



Fonte: <http://www.inovacaodigital.com.br/materia/teoria-gravidade-nova-definicao-einstein-espaço-tempo>

O problema da estabilidade persistia...

Constante Cosmológica

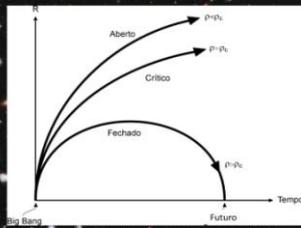
Fonte: http://www.nasa.gov/content/most_colorful_view_of_universe_captured_by_hubble_space_telescope/#.VQiyE1TF_TB

Modelos de Friedmann

Investigou soluções das equações de Einstein, mostrando que havia várias possibilidades de universos em expansão ou contração.



Alexander Friedmann
Para ele, o que determina a expansão do universo é a sua densidade de matéria



Fonte: Livro Cosmology: The Science of the Universe p. 298.

Fonte: <http://www.nasa.gov/content/most-colorful-view-of-universe-captured-by-hubble-space-telescope/#.VQiyE17F-T8>

A Geometria do Universo

Na Cosmologia, a curvatura do espaço está ligada à densidade de Matéria e pode agir maneiras distintas sobre a expansão do universo:



Fonte: <http://nota.if.usp.br/mecapica/universo/espaco/curvatura/>

- O universo dito Plano possui curvatura nula : se expandirá, porém diminuindo lentamente a velocidade de expansão.
- O universo dito Fechado possui curvatura positiva : se expandirá até certo ponto e, daí então, se contraírá de volta até o espaço zero.
- O universo dito Aberto possui curvatura negativa : se expandirá para sempre. Isto é chamado de um universo aberto .

Fonte: <http://www.nasa.gov/content/most-colorful-view-of-universe-captured-by-hubble-space-telescope/#.VQiyE17F-T8>

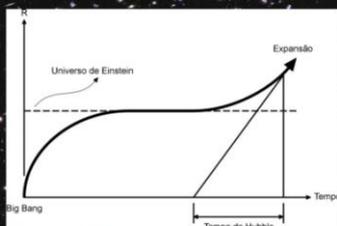
Modelo de Lemaître



Georges Lemaître

“O modelo do átomo primordial”

Um Universo Que teve um início “abrupto”, permanecer estático por um determinado tempo Estático e passa a se expandir Exponencialmente



Fonte: Livro Cosmology: The Science of the Universe p. 302

Fonte: <http://www.nasa.gov/content/most-colorful-view-of-universe-captured-by-hubble-space-telescope/#.VQiyE17F-T8>

Edwin Hubble e suas observações

- Descobriu que as anteriormente conhecidas como nebulosas são na verdade galáxias fora da via láctea;



- Lei de Hubble : As galáxias se afastam umas das outras com velocidades proporcionais a distância entre elas;
- Efeito Doppler Astronômico e Redshift;

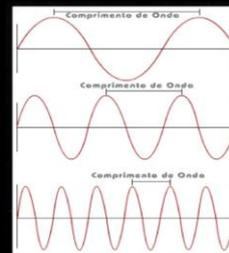
Fonte: <http://astro.if.usp.br/leiv/>

Fonte: <http://www.nasa.gov/content/most-colorful-view-of-universe-captured-by-hubble-space-telescope/#.VQiyE17F-T8>

Mas quais as propriedades das ondas mesmo?

Comprimento de onda (λ): distância entre os máximos de uma onda;

Frequência (f): número de máximos da onda que passam por segundo por um determinado ponto.

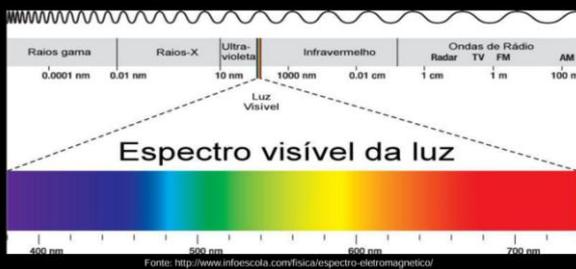


Fonte: http://www.on.br/ead_2013/atel/contexdor/cap10-radiacaoionizacao.html

Clique para assistir ao vídeo "What light can teach us about the universe"

Espectroscopia

O Espectro Eletromagnético



Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletrromagnético/>

As informações a partir da faixa visível do Espectro Eletromagnético



Fontes:
1 - <http://astro.if.usp.br/rad/espec/espec.htm>
2 - http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-1117201200020015&script=sci_text

Efeito Doppler e Redshift

Fontes:
 1 - http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/cosmic_reference/redshift.html
 2 - <http://pnld.moderna.com.br/2012/11/29/a-fisica-do-efeito-doppler/>
 3 - <http://www.if.ufrgs.br/oielc/gu/doppler.htm>

O Desvio para o Vermelho

$$z = \frac{\lambda_{\text{observado}} - \lambda_{\text{emitido}}}{\lambda_{\text{emitido}}} = \frac{v_e}{c}$$

Fontes:
 1 - Adaptado de: <http://planetariodorio.com.br/index.php/component/k2/item/289-efeito-doppler>
 2 - Adaptado de <http://www.bbc.com/news/science-environment-19959531>

Deslocamento das linhas espectrais H e K de absorção usando a mesma base de referência para galáxias em diferentes aglomerados

Fonte: Livro Cosmologia Física, p.81

Lei de Hubble

A velocidade com que uma galáxia se move, afastando-se de nós, é proporcional à distância

$$v(t) = H_0 \cdot d(t)$$

sendo, v é a velocidade com que as galáxias se afastam, d a distância da mesma ao observador e H_0 uma constante chamada *constante de Hubble*, obtida a partir da tangente do gráfico.

O valor mais atual da *constante de Hubble* e $H_0 = 71 \text{ km/s/Mpc}$

Fonte: <http://www.das.inpe.br/cosmo/intro-cosmo/node4.html>

A Idade do Universo

Se o Universo está se expandindo é razoável imaginar que, em algum ponto no passado, ele deve ter começado em algum ponto a sua expansão. Usando a Lei de Hubble é possível estimar a idade do Universo, contanto que admitamos que as galáxias mais distantes se moveram-se com velocidades constantes até chegar onde estão.

Assim,

Para Hubble $v = H_0 \cdot d$ e $v = \frac{d}{t}$

$$t = \frac{1}{H_0}$$

Medidas recentes da **Constante de Hubble** dão como valor algo em torno de $H = 73,8 \text{ km/s.Mpc}$. Cada Mpc equivale a $3,086 \cdot 10^{19} \text{ km}$. Agora é só Calcular...

Teremos, em um caçulo superficial:

$$t = \frac{1}{H_0} \Rightarrow t = \frac{1}{\left(\frac{73,8}{3,086 \cdot 10^{19}}\right)} \Rightarrow t \cong 4,18 \cdot 10^{17} \text{ s}$$

1 ano tem 365 dias, cada dia tem 24 h, cada hora tem 3600 s.
 Logo:

1 ano tem $365 \times 24 \times 3.600 = 31.536.000 \text{ s}$,

ou seja, aproximadamente;

$$3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$$

Assim,

$$\frac{1 \text{ ano}}{(3,15 \cdot 10^7 \text{ s})} = \frac{A}{(4,18 \cdot 10^{17} \text{ s})}$$

$$(3,15 \cdot 10^7 \text{ s}) \cdot A = (4,18 \cdot 10^{17} \text{ s}) \cdot \text{ano}$$

$$A = \frac{(4,18 \cdot 10^{17} \text{ s}) \cdot \text{ano}}{(3,15 \cdot 10^7 \text{ s})}$$

$$A \cong 1,33 \cdot 10^{10} \text{ anos}$$

Concluindo, portanto, que o Universo tem aproximadamente **é 13 bilhões de anos.**

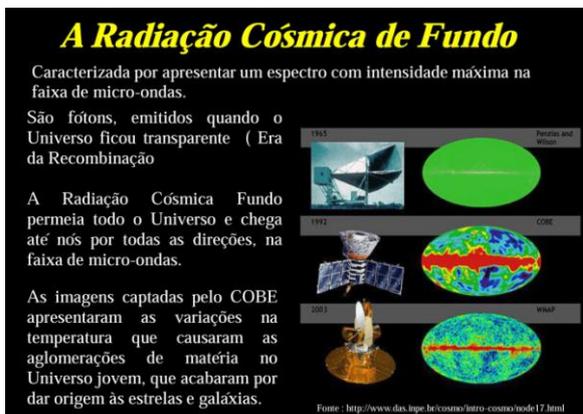
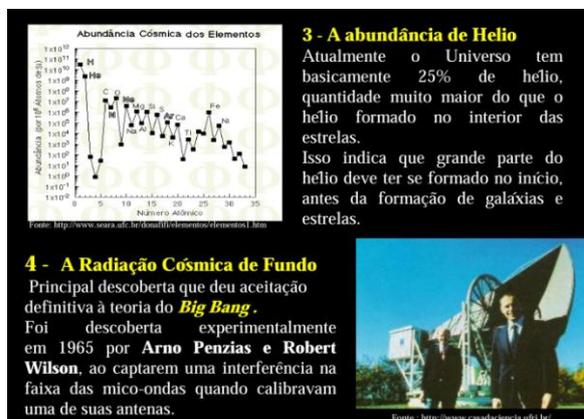
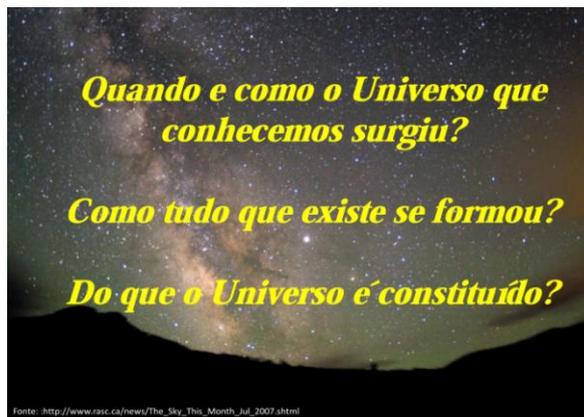
Referências:

HORVATH, J. et al. *Cosmologia Física: do micro ao macro cosmos e vice-versa*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.

WebSites:
<http://astro.if.ufrgs.br>
<http://www.on.br>
<http://www.edcc.sc.usp.br/cda>
<http://www.nasa.gov/>
<http://efisica.if.usp.br/mecanica/universitario/espaco/intro/>
<http://www.fisica.ufmg.br/~dsouares/ensino/1-08/noite.pdf>
<http://www.infoescola.com/fisica/>
<http://www.inovacaetecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=sonda-nasa-confirma-teoria-einstein-espaco-tempo-VonKITE-FB>
<http://planetariodorio.com.br/index.php/component/k2/item/289-efeito-doppler>
<http://www.bbc.com/news/science-environment-19959531> <http://www.das.inpe.br/cosmo/intro-cosmo/node4.html>
http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/cosmic_reference/redshift.html
<http://pnld.moderna.com.br/2012/11/29/a-fisica-do-efeito-doppler/>
<http://www.if.ufrgs.br/oielc/gu/doppler.htm>
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S18061172012000200015&script=sci_text

Video:
 What light can teach us about the universe. Direção: Pete Edwards. Produção: TedEd. Disponível em: <http://red.ed.com/lessons/what-light-can-teach-us-about-the-universe-pete-edwards>

B.c - “A Origem e Formação de Tudo”



Tudo de vemos hoje...
Aproximadamente 13,7 Bilhões de anos após o Big Bang...

H O J E

- 13,7 bilhões de anos após a origem:** O Universo precisou de cerca de 12 Bilhões de anos para começar a tomar a forma que hoje conhecemos.
- 10 bilhões de anos:** Domínio da Energia escura: A expansão passa a ser Acelerada;
- 8,7 bilhões de anos:** O Sistema solar se forma;
- 3 bilhões de anos:** Aglomerados de Galáxias são formados; grande formação de estrelas;
- 1 bilhão de anos:** Formação das primeiras galáxias;
- 300 milhões de anos:** Primeiras estrelas se formam;

Adaptado de: Scientific American Brasil. Edição especial, nº 41, 2010

Os primeiros átomos de Hidrogênio e Hélio são formados pela ligação de elétrons aos núcleos leves formados...

No intervalo de 1 segundo após o Big Bang o Universo se expandiu muito rapidamente e a base de tudo que conhecemos foi criada...

...AS PARTÍCULA ELEMENTARES

FORMAÇÃO DOS ÁTOMOS → MOMENTOS INICIAIS DO UNIVERSO

- 300 mil anos aos 3 min.** Os átomos são formados liberando a RCF - o Universo fica transparente; **Era da Reionização**
- Dos 3 min. aos 1s** Hélio, Deutério, lítio e hidrogênio se formam a partir de prótons e nêutrons; **Era dos primeiros Elementos**
- 1s aos 10⁻⁷ s** Colisões entre fótons dão origem aos quarks, que formarão os Prótons e Nêutrons; **Era Hadrônica e Leptônica**
- 10⁻³⁵ s** O Universo se expande rapidamente e começa a esfriar; **Era da Inflação**
- 10⁻⁴³ s** Separação da Força da Gravidade das demais; **Era da Grande Unificação**

Adaptado de: Scientific American Brasil. Edição especial, nº 41, 2010

Era da Grande Unificação

Forças Fundamentais

Ocorreu entre **10⁴³ s e 10³⁵ s** – muito menos de 1s após o Big Bang

Esta era teve seu início com a separação da **Força da Gravidade** das outras três forças (Força Eletromagnética, Força Forte e Força Fraca) que se mantêm unificadas, satisfazendo às teorias da grande unificação (GUT).

Nesta **Era** temos duas forças que controlavam o Universo: **a gravidade e a força das GUT.**

Fonte : <http://www.if.ufrgs.br/ftd02001/aulas/cosmo.html>

Era da Inflação

Ocorreu entre 10⁻³⁵s e 10⁻³² s após o Big Bang. A inflação Cósmica foi proposta inicialmente por Alan Guth (1981), postulando que o Universo, em seu momento inicial passou por uma fase de crescimento exponencial. No início desta era a Força forte se separa das GUT, e até o final dela as forças Eletromagnética e a Força Fraca se mantiveram unidas (Força Eletrofraca). A temperatura do Universo girava em torno de 10²⁷ K

Adaptado de : <http://www.inovacaotecnologica.com.br/>

Eras Hadrônica e Leptônica

A Era Hadrônica (Era das Partículas pesadas) ocorreu entre 10⁻⁷ s e 10⁻³ s, e foi marcada por uma forte diminuição na temperatura do Universo passando a 10¹¹K, as forças fundamentais se separaram por completo e colisões entre fótons dão origem aos quarks, antiquarks que se combinariam formando os Hádrons ;

A Era Leptônica (Era das Partículas Leves) ocorreu entre 10⁻³ s e 1 s, e nela a temperatura continuava a cair, atingindo cerca de 10¹¹ K. Os fótons retêm energia suficiente para formar partículas leves como elétrons e pósitrons.

Pelo que sabemos hoje, são as partículas fundamentais constituintes da matéria, léptons e quarks

Adaptado de : http://www.bibliotecapleyades.net/imagines_ciencia/collisionsofhadrons25_03.jpg

As Partícula Elementares

Tudo que está a nossa volta, inclusive o que nos constitui é formado por partículas elementares

Mas o que elas são? Como elas agem?

Modelo Padrão

QUARKS

2,4 MeV/c ² 2/3 u up	1,27 GeV/c ² 2/3 c charm	171,2 GeV/c ² 2/3 t top
4,8 MeV/c ² -1/3 d down	104 MeV/c ² -1/3 s strange	4,2 GeV/c ² -1/3 b bottom

Os quarks são, até o ponto em que sabemos, as partículas mais fundamentais que formam o núcleo atômico. E essas partículas fundamentais que formam tanto o nêutron quanto o próton

O Universo como o conhecemos hoje, ou seja para o estado de energia atual, é formado simplesmente pelos quarks dos tipos **u (up) e d (down)**!

Modelo Padrão

LÉPTONS

2,4 MeV/c ² 2/3 u up	1,27 GeV/c ² 2/3 c charm	171,2 GeV/c ² 2/3 t top
4,8 MeV/c ² -1/3 d down	104 MeV/c ² -1/3 s strange	4,2 GeV/c ² -1/3 b bottom
<2,2 eV/c ² -1/2 e electron	<0,17 MeV/c ² -1/2 μ muon	<15,5 MeV/c ² -1/2 τ tau
0,511 MeV/c ² -1/2 e electron	103,7 MeV/c ² -1/2 μ muon	1,777 GeV/c ² -1/2 τ tau

Léptons são partículas verdadeiramente elementares, isto é aparentemente não têm estrutura interna.

O elétron é o lépton mais familiar.

Os demais léptons são o múon, o tau e os três neutrinos (neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do tau).

Modelo Padrão

Quarks	2.4 MeV/c ² 1/2 1/2 u up	1.27 GeV/c ² 2/3 1/3 c charm	171.2 GeV/c ² 2/3 1/3 t top	0 0 1 γ photon
	4.8 MeV/c ² -1/2 1/2 d down	104 MeV/c ² -2/3 1/3 s strange	4.2 GeV/c ² -1/2 1/2 b bottom	0 0 1 g gluon
	-2.2 MeV/c ² 0 1/2 V _e electron neutrino	0.17 MeV/c ² 0 1/2 V _μ muon neutrino	15.5 MeV/c ² 0 1/2 V _τ tau neutrino	91.2 GeV/c ² 0 1 Z ⁰ Z boson
Leptons	0.511 MeV/c ² -1 1/2 e electron	105.7 MeV/c ² -1 1/2 μ muon	1.777 GeV/c ² -1 1/2 τ tau	80.4 GeV/c ² -1 1 W [±] W boson
				Gauge bosons

BÓSONS
São partículas chamadas de mediadoras de força, responsáveis por estabelecerem as interações.
Estão diretamente ligadas às Forças Fundamentais:
Força Eletromagnética é o **fóton**;
Força Fraca é transportada pelas partículas conhecidas por **We Zo**;
Força Forte é transportada pelos **gluões**.

Modelo Padrão

Quarks	2.4 MeV/c ² 1/2 1/2 u up	1.27 GeV/c ² 2/3 1/3 c charm	171.2 GeV/c ² 2/3 1/3 t top	0 0 1 γ photon	125 GeV/c ² 0 0 H Higgs boson
	4.8 MeV/c ² -1/2 1/2 d down	104 MeV/c ² -2/3 1/3 s strange	4.2 GeV/c ² -1/2 1/2 b bottom	0 0 1 g gluon	
	-2.2 MeV/c ² 0 1/2 V _e electron neutrino	0.17 MeV/c ² 0 1/2 V _μ muon neutrino	15.5 MeV/c ² 0 1/2 V _τ tau neutrino	91.2 GeV/c ² 0 1 Z ⁰ Z boson	
Leptons	0.511 MeV/c ² -1 1/2 e electron	105.7 MeV/c ² -1 1/2 μ muon	1.777 GeV/c ² -1 1/2 τ tau	80.4 GeV/c ² -1 1 W [±] W boson	
					Gauge bosons

BÓSONS
O Bóson de Higgs
Partícula elementar que representa a chave para explicar a origem da massa das outras partículas Elementares

Era da Nucleossíntese

A diminuição da temperatura permitiu a gênese de prótons (p) e nêutrons (n).
A Composição Química do Universo é então estabelecida

próton + nêutron → deutério
próton + 2 nêutrons → trítio
4 prótons + 2 nêutrons → hélio

Fonte: <http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/itrcosm/Glossario/NucleosPrim.html>

Cerca de 3 minutos depois do Big Bang, à temperatura de aproximadamente de 300 milhões de Kelvin, os prótons (p) e nêutrons (n) ligam-se para formar os primeiros núcleos dos átomos.

Era da Recombinação

Ocorreu do terceiro minuto até 380 000 anos após o Big Bang, durante este tempo, pouco a pouco os elétrons se unem aos núcleos já formados para constituírem os átomos, o Universo então se torna transparente e a radiação pode fluir livremente pelo espaço. A temperatura cai para 3700 K.

próton + elétron → átomo de Hidrogênio
núcleo de Hélio + elétron → átomo de Hélio

Recombinação T = 3700 K

Fonte: <http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/itrcosm/Glossario/EraRecomb.html>

O LHC – Grande Colisor de Hádrons

Maior acelerador de partículas do mundo, localizado na fronteira França-Suíça, pertencente ao CERN (Centro Europeu de Pesquisa Nuclear).

Fonte: <http://www.mundoeducacao.com/quimica/lhc-maior-acelerador-particulas-mundo.htm>

Nas figuras acima é temos uma visão panorâmica da localização do LHC e um diagrama esquemático de sua construção

O LHC – Grande Colisor de Hádrons

- O LHC é o maior instrumento de investigação científica já construído
- 14 anos para construir
- custo de aproximadamente 8 bilhões de dolares
- circunferência de 27 km
- tubulações localizadas a 75m abaixo da superfície
- eletroímãs supercondutores mantidos a -271,3 °C
- consumo de energia anual de 800 000 MWh.

Este é o ATLAS, um dos detectores do LHC. A pessoa indicada pela seta dá uma ideia do tamanho do aparato.

Fonte: <http://veja.abril.com.br/noticia/ciencia/fisicos-descobrem-nova-particula-elementar-da-materia>

O Acelerador de partículas...

13,8 bilhões de anos atrás, poucas segundos antes da criação do nosso Universo...

Tudo pronto. Vamos ligar esse Grande Colisor de Hádrons e ver o que acontece!!!

Adaptado de: <http://www.guiadopc.com.br/noticias/3572/lhc-invadido-por-crackers-gregos.html>

Referências:

MARTINS, R. A. O universo: teorias sobre sua origem e evolução. 2.ed. São Paulo:Editora Livraria da Física 2012.
TURNER, M. S. A Origem do Universo. **Scientific American Brasil**. Fronteiras da Física 4. Edição Especial, n.4, p.70 – 77

Websites:
<http://www.astro.iag.usp.br>
<http://www.quantumfables.org/lhc/>
http://www.boston.com/bigpicture/2009/11/large_hadron Collider_ready_to.html
http://www.rasc.ca/news/The_Sky_This_Month_Jul_2007.shtml

Vídeos:
Big Bang. Produção: TV Escola. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=CH24yMfA94>>

B.d - “A Composição do Universo e seu Futuro”

A Composição e o Futuro do Universo

Do que o Universo é constituído ?

A descrição dos componentes do Universo pode ser feita de forma sucinta em 3 classes que não interagem, representando todas as formas de matéria conhecida.

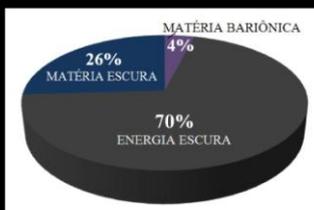
Radiação, incluindo todas as partículas relativísticas da natureza, em especial fótons e neutrinos.

Matéria não relativística,
Matéria Bariônica
Matéria Não-Bariônica

Energia Escura, intrigante componente que molda o Universo sob a forma de uma energia misteriosa

Mas como tudo isso está distribuído no Universo?

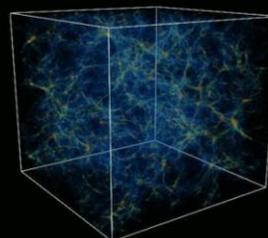
Estudos recentes apontam que apenas 4% do total de massa do universo é constituída de matéria bariônica na forma que conhecemos,



os 96% restantes não são visíveis aos nossos telescópios dos quais são constituídos 26% por Matéria Escura e 70% por Energia Escura

Matéria Escura

Recebe este nome pois não apresentam características semelhantes às que constituem a matéria como conhecemos - formadas por partículas elementares que interagem com a luz.



<http://www.astro.virginia.edu/~jfb/Foundations/tilt/cosmos.gif>

Matéria Escura

A possível existência **Matéria Escura** nos aglomerados de galáxias é suposta a mais tempo do que imaginamos.

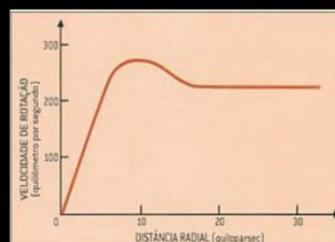
Em 1933, **Fritz Zwicky** ao estudar os movimentos de um conjunto de galáxias espirais observou que a velocidade destas galáxias era maior do que era esperado e por isso deveria existir uma massa maior que a observada provocando tal efeito.



http://www2.astro.berkeley.edu/~spitzer/misconceptions_of_matter_dark.html
Andrômeda (acima), e um exemplo de galáxia espiral.

Matéria Escura

A Curva de Rotação Galáctica: é estabelecida pelo gráfico das velocidades das estrelas medidas em função de sua distância do centro da galáxia espiral

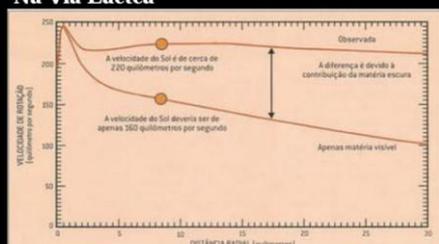


Supondo a existência de matéria escura, a curva de rotação evidencia como o valor da velocidade cresce até um máximo, e depois diminui até certo ponto e a medida que se aproxima da margem, a velocidade se estabiliza sobre um valor constante.

Fonte: Scientific American Brasil, ano 1, n. 3, p.29, 2002

Matéria Escura

Na Via Láctea

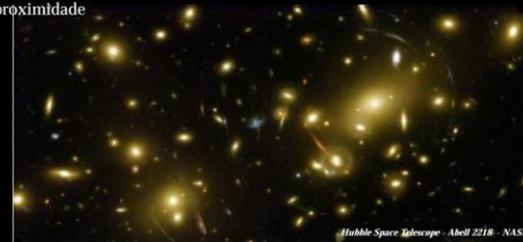


Fonte: Scientific American Brasil, ano 1, n. 3, p.29, 2002

Conforto entre a curva de rotação medida da Via Láctea e a que se esperaria se a galáxia fosse constituída somente de matéria visível.

Lentes Gravitacionais

A presença gravitacional da matéria escura também é revelada de por meio das **LENTEs GRAVITACIONAIS**. A gravidade encurva os raios de luz e, assim, a concentração de matéria escura pode ser detectada e medida pela sua influência sobre a luz de objetos que estão em suas proximidade



Hubble Space Telescope - Abell 2218 - NASA

Fonte: http://www.nasa.gov/volplan/vla/vla/revolutions/images/ab2218_1a.jpg

A Matéria do Universo

Considerando a avaliação da densidade (Ω) de todos os bárions,



96% da massa do Universo é constituída de matéria não bariônica e 90% dos bárions não são luminosos.

Fonte: http://www.nasa.gov/vison/universo/stargalaxies/dark_matter_proven.html

Na imagem, a névoa azulada mostra a matéria escura margeando o "Bullet Cluster."

Mas do que é constituída a matéria escura?

Possíveis candidatas...

Matéria Escura Bariônica (bárions escuros)

- MACHOs

Matéria Escura Não Bariônica

- WIMPs
- AXIONS

Fonte: http://www.bbc.co.uk/science/ptc/universo/questaoe_and_idao/dark_matter

Quanto a "temperatura", a *Matéria Escura* pode ainda ser classificada ...

Matéria escura quente (HDM):

- neutrinos massivos;

Matéria escura fria (CDM):

- WIMPs ;
- neutralino ;
- axion;

Matéria escura morna (WDM):

- gravitino .



Imagens de seis aglomerados de galáxias diferentes feitas com o Telescópio Espacial Hubble, registrando em azul o comportamento da matéria escura durante as colisões.

Fonte: <http://www.nasa.gov/press/2015/march/nasa-s-hubble-chandra-find-clues-that-may-help-identify-dark-matter> NASA e ESA

A Energia Escura

A partir de dados da RCF e dos redshifts de supernovas, os cientistas chegaram à conclusão da necessidade de uma componente difusa, que domina a gravidade dando o efeito repulsivo que aumenta a taxa de expansão do Universo. A esta componente foi dada o nome de **Energia Escura**



Fonte: <http://galileo.globo.com/redes/97/universo2.htm>

A medida que o Universo se expandiu a força gravitacional enfraqueceu e a força da *energia escura* permaneceu constante, tornando a taxa de expansão do Universo de "desacelerada" em acelerada.

Evidências da Energia Escura

- Explosões em Supernova
- Radiação Cósmica de Fundo
- Lentes Gravitacionais
- Aglomerados de Galáxias

Por meio do Observatório de Raios-X Chandra da NASA os efeitos da "energia escura" nos objetos colapsados de maior massa no universo usando são claramente observados.

Fonte: http://www.nasa.gov/multimedia_pages/chandra/news/1008_329.html

Mas o que pode ser esta Energia Misteriosa?

Considerando os modelos de *energia escura* encontrados na literatura atual, os possíveis candidatos discutidos são:

- **Constante Cosmológica (Λ)** - interpretada como a densidade de "energia do vácuo" que permaneceria constante no tempo
- **Quintessência** - que sofreria variações no decorrer do tempo.

Constante Cosmológica - Λ



*Este modelo associa, como fonte da **energia escura**, uma "energia do vácuo" constante no tempo e no espaço, com referência equivalente à **constante cosmológica Λ** proposta por Einstein.*

Entretanto, o modelo é acometido por dois problemas fundamentais...

Quintessência

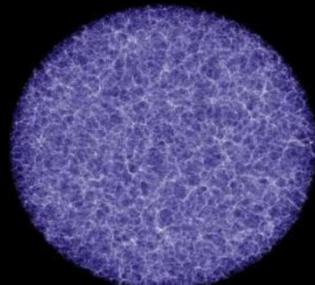
O modelo se refere a uma extensa classe de possibilidades, e difere da constante cosmológica por seu caráter dinâmico, associando variações da gravidade ou da matéria com o tempo;

Admite uma densidade de energia que varia no tempo, sendo assim capaz de explicar a expansão acelerada recente do universo;

Prevê que esta expansão acelerada do Universo - ligeiramente mais lenta que a prevista pela constante cosmológica - seria causada por uma *energia potencial* de um campo escalar dinâmico, que recebeu o nome de **Quintessência**.

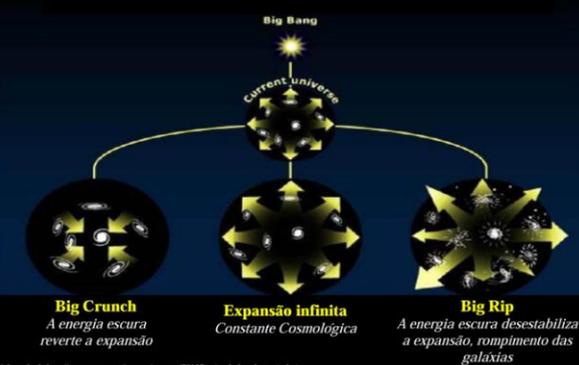
O nome **Quintessência** deriva do "quinto elemento" puro, o *éter*, que segundo os filósofos gregos permeava todo o Universo

Os campos escalares - previstos pelas teorias de unificação das interações fundamentais da natureza - ainda não foram observados experimentalmente, contudo também não foram apresentados argumento válidos que nos levem a ignorá-la.



Fonte: <http://www.universetoday.com/43771/quintessence/>

Para um Universo com energia escura



Referências:

CARAVEO, P.; RONCADELLI, M. O enigma da matéria escura. *Scientific American Brasil*. São Paulo, ano 1, n. 3, p. 26-33, 2002.

CONSELICE, C. J. A mão invisível do Universo. *Scientific American Brasil*. São Paulo, ano 5, n. 58, p. 34-41, 2007.

HORVATH, J. et al. *Cosmologia Física: do micro ao macro cosmos e vice-versa*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.

C – AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

C.a - Atividade de Concepções Iniciais sobre o Universo



Colégio Estadual do Espírito Santo
Coordenadoria de Física
Av. Vitória - Vitória - ES, 29017-020

CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO
ESPÍRITO SANTO – CEUNES/UFES
PPGEEB – Programa de Pós-Graduação
em Ensino na Educação Básica



 Colégio Estadual do ES	SEU UNIVERSO		
	Professora: Rosa Maria Ambrózio	Disciplina: Física	Data: ___/10/2014
	Aluno (a): _____		Série: 2º Ano ___

Prezado Estudante,

Solicitamos a sua contribuição ao participar da atividade que tem o objetivo de **avaliar sua concepção inicial acerca do tema "Universo"**. Esta dinâmica é parte do processo de desenvolvimento de uma pesquisa de Mestrado que envolve uma intervenção educacional para Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio a partir de tópicos de Cosmologia por meio de uma sequência didática.

Como o sucesso desse estudo depende de sua resposta a essa atividade, gostaríamos de, antecipadamente, agradecer sua participação e contribuição.

No espaço abaixo represente na forma de desenhos a mão livre, e se julgar necessário faça um breve texto explicativo, suas ideias acerca do Universo.

1 - Para você, como é o Universo?

C.b - Atividade Investigativa Universo Balão



Colégio Estadual do Espírito Santo
Coordenadoria de Física
Av. Vitória - Vitória - ES, 29017-020

CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO
ESPÍRITO SANTO – CEUNES/UFES
PPGEEB – Programa de Pós-Graduação
em Ensino na Educação Básica



ATIVIDADE INVESTIGATIVA - “UNIVERSO BALÃO”

Professora:	Disciplina: Física	Data: ___/___/___
Alunos(as):		Série: 2º
Valor da atividade:		Nota: _____

- ⇒ Analisem calmamente o problema.
- ⇒ Registre todas as hipóteses levantadas pelo grupo.
- ⇒ Releia seu plano antes de entregá-lo à professora.
- ⇒ Deixe todos os argumentos, a forma como os dados serão coletados e resultados esperados no plano do grupo.

“UNIVERSO BALÃO”

Em nossas últimas aulas estudamos alguns tópicos relacionados ao Universo e sua evolução, evidenciando com base nos estudos recentes da cosmologia que o Universo parece estar ficando cada vez maior. Podemos usar um balão para nos ajudar a compreender o que está acontecendo no cosmos. Nesta atividade, o balão representa o Universo; e como já discutimos ele está repleto de galáxias.

Como vocês construiriam, utilizando os materiais descritos abaixo, uma representação através da qual fosse possível simular a expansão do Universo e justificar (comprovar ou correlacionar) os fenômenos associados? Discutam e expliquem como os materiais seriam organizados para construir a representação.

Materiais

- ✓ Balão arredondado
- ✓ Etiquetas adesivas
- ✓ Fita métrica
- ✓ Prendedor para balão



Não pode faltar no plano:

- 1) O Objetivo.
- 2) As hipóteses iniciais para a solução do problema.
- 3) As informações coletadas e as explorações realizadas na execução do experimento.
- 4) Conclusões com as discussões sobre a confirmação (ou não) das hipóteses e das consequências delas derivadas.

C.c - Atividade Investigativa *Redshift*



Colégio Estadual do Espírito Santo
Coordenadoria de Física
Av. Vitória - Vitória - ES, 29017-020

CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO
ESPIRITO SANTO – CEUNES/UFES
PPGEEB – Programa de Pós-Graduação
em Ensino na Educação Básica



ATIVIDADE INVESTIGATIVA - “ REDSHIFT” PROBLEMA ABERTO

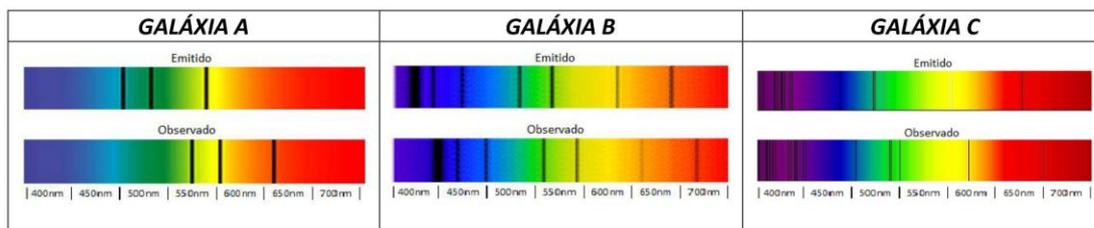
Professora:	Disciplina: Física	Data: / /
Alunos(as):		Série: 2º
Valor da atividade:		Nota:

- ⇒ Analisem calmamente o problema.
- ⇒ Registre todas as hipóteses levantadas pelo grupo. Escreva todos os argumentos, possíveis soluções, bem como resultados esperados pelo grupo.

Questão 1

Nos anos 20, Edwin Hubble conseguiu estimar as distâncias da galáxia de Andrômeda e outras galáxias, observando o brilho aparente e os períodos de pulsação de certo tipo de estrelas nessas galáxias. Ao fotografar os espectros de várias galáxias, usando o telescópio de 2,50 m de Monte Wilson e comparar as distâncias das galáxias com as suas velocidades de afastamento, determinadas a partir dos seus *redshifts*, verificou que as galáxias mais distantes estavam se afastando com velocidades maiores.

Nas figuras abaixo apresentamos espectros de absorção de três estrelas que pertencem, respectivamente, às galáxias A, B e C.



Com base no que foi discutido nas últimas aulas e analisando os desvios das linhas espectrais nas figuras acima, expliquem, em um breve texto, como os cientistas poderiam ter chegado à conclusão de que o Universo está em expansão.

Questão 2

Utilizando os deslocamentos para o vermelho das linhas espectrais, Hubble, a partir de suas observações, conseguiu estabelecer o *redshift* determinado pela equação abaixo.

$$Z = \frac{\lambda_{OBSERVADO} - \lambda_{EMITIDO}}{\lambda_{EMITIDO}} = \frac{V_e}{C}$$

Esse *redshift* (Z) também determina a relação da velocidade da luz no vácuo (c) com a velocidade de afastamento das galáxias (V_e).

	Galáxia A	Galáxia B	Galáxia C
$\lambda_{EMITIDO}$	$505 \times 10^{-9} \text{ m}$	$530 \times 10^{-9} \text{ m}$	$525 \times 10^{-9} \text{ m}$
$\lambda_{OBSERVADO}$	$575 \times 10^{-9} \text{ m}$	$560 \times 10^{-9} \text{ m}$	$540 \times 10^{-9} \text{ m}$



Colégio Estadual do Espírito Santo
 Coordenadoria de Física
 Av. Vitória - Vitória - ES, 29017-020

CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO
 ESPÍRITO SANTO – CEUNES/UFES
 PPGEEB – Programa de Pós-Graduação
 em Ensino na Educação Básica



a) A tabela acima apresenta os comprimentos de onda coletados para as três galáxias apresentadas na questão 1. Na primeira linha encontram-se os comprimentos de onda medidos em laboratório para os elementos que compõem a galáxia. Na segunda linha estão os comprimentos de onda coletados a partir dos espectros de luz das galáxias observados com telescópios.

Seguindo o exemplo de Hubble, como você calcularia o redshift e a velocidade de afastamento de cada galáxia citada anteriormente? Se julgar necessário use $c = 3 \times 10^8$ m/s.

b) Por meio de suas observações e investigações, Hubble também relacionou a distância de uma galáxia e sua velocidade de afastamento em relação a um observador, chegando a uma constante (H_0) que recebeu seu nome. Com base nas investigações feitas por vocês nesta atividade, como vocês encontrariam a distância entre as galáxias A, B e C e o nosso ponto de observação?

$$V(t) = H_0(t).d(t)$$

O valor mais atual para a constante de Hubble é $H_0 = 7,2 \times 10^{-4}$ m/s/Mpc.

c) A partir da análise dos resultados encontrados nos itens a) e b) é possível estabelecer uma relação entre a velocidade de afastamento e a distância das galáxias? Após uma discussão entre os integrantes do grupo, escrevam a que conclusão vocês chegaram.

C.d - Atividade Investigativa *Big Bang*



Colégio Estadual do Espírito Santo
Coordenadoria de Física
Av. Vitória - Vitória - ES, 29017-020

CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO
ESPIRITO SANTO – CEUNES/UFES
PPGEEB – Programa de Pós-Graduação
em Ensino na Educação Básica



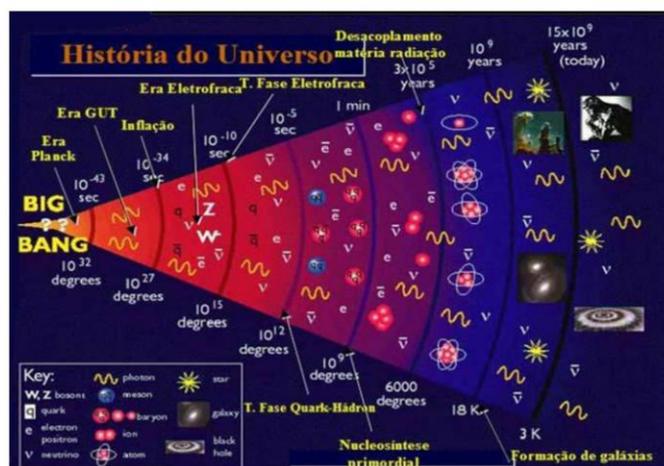
ATIVIDADE INVESTIGATIVA - “BIG BANG” QUESTÃO ABERTA

Professora:	Disciplina:	Data:
Alunos(as):		Série:
Valor da atividade:		Nota:

- ⇒ Analisem calmamente o problema.
- ⇒ Escreva todos os argumentos, e as possíveis soluções discutidas pelo grupo.

“ Big Bang”

A teoria do *Big Bang* - que descreve os primeiros momentos do Universo - presume que o Universo iniciou a partir de um estado extremamente quente e denso, em que toda a matéria e toda a radiação estavam contidas num espaço infinitamente pequeno. A rápida expansão que iniciou o surgimento do universo lembra muito uma explosão, mas na verdade não foi uma explosão que ocorreu em um ponto do espaço, e sim a geração de espaço em todos os pontos, que se expandem com o tempo.



Fonte: http://www.das.inpe.br/ciaa/cd/HTML/cosmologia/7_2.htm. Acessado em 19/11/2014.

Antes mesmo do primeiro segundo após o Big Bang, a temperatura estava extremamente alta, por volta de 100 trilhões de Kelvins, e como a temperatura é a medida da energia média das partículas, e esta é proporcional à matéria do Universo, de uma forma simplificada, ao dobrar o tamanho do Universo, sua temperatura média caiu pela metade. Isto é, com a expansão, o Universo foi se resfriando tornando possível a união das partículas e a formação dos primeiros átomos.

A formação do universo, como o conhecemos, passou por várias Eras e até que fosse possível se formar o primeiro átomo, passaram-se aproximadamente 300 mil anos após o Big Bang. A partir desse momento houve primeiramente a formação de estrelas (200 milhões de anos após o Big Bang) para depois se formarem as primeiras galáxias (500 milhões de anos após o Big Bang). O Sistema Solar teve início 8,7 bilhões de anos após o Big Bang e o planeta Terra logo depois, 9,2 bilhões após o Big Bang.

Como vocês explicariam, tomando como base o que aprendemos nas últimas aulas, o enorme tempo que foi necessário para a formação do primeiro átomo, e a partir deste, a formação de tudo que compõe o Universo? Faça um breve texto expondo as ideias do grupo a respeito desse tema.

D – QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO



Colégio Estadual do Espírito Santo
Coordenadoria de Física
Av. Vitória - Vitória - ES, 29017-020

CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO
SANTO – CEUNES/UFES
Programa de Pós-Graduação em Ensino na Educação
Básica - PPGEEB



Prezado Estudante,

Solicitamos a sua contribuição para o preenchimento deste questionário que tem o objetivo de **avaliar as aulas e as atividades investigativas sobre Cosmologia, realizadas nas últimas aulas**. Esta avaliação faz parte de um estudo que está sendo desenvolvido na pesquisa da mestranda Ádila Motta Leite Seferin, no Programa de Pós Graduação em Ensino na Educação Básica do Centro Universitário Norte do Espírito Santo – CEUNES.

Como o sucesso desse estudo depende de sua resposta a esse questionário, gostaríamos de, antecipadamente, agradecer sua participação e contribuição.

Ádila M. L. Seferin & Rosa M. Ambrózio

1) De uma forma geral, você gostou das aulas da Unidade de Cosmologia?

- Gostei muito
 Gostei
 Indiferente
 Não Gostei
 Não gostei nem um pouco

2) Na escola costumam ocorrer aulas e atividades investigativas como as desenvolvidas no decorrer da unidade de Cosmologia?

- Não
 Sim.
 Em qual (is) disciplina (s)? _____

3) Você acha válido que os professores adotem esta perspectiva de ensino nas aulas?

- Sim. Pois,
 permite a construção coletiva do conhecimento, uma vez que existe debate entre os integrantes do grupo para a elaboração de uma conclusão.
 existe a possibilidade de correção de uma hipótese inicialmente errada, então é possível aprender até com os erros.
 nessas atividades a tensão é menor do que em uma prova, então se torna mais interessante realizá-las.

- Não. Pois,
 as atividades demandam de um tempo relativamente grande.
 nem todos os participantes do grupo colaboram.
 como essas atividades são realizadas em grupo acaba havendo um desvio do assunto devido à conversa entre os colegas.

4) Após estudar os conteúdos de Cosmologia, você acha que eles são importantes para o seu entendimento sobre o Universo?

- Sim, em todas as situações.
 Na maioria das situações, mas não em todas.
 Nem sempre.
 Raramente, mas em algumas situações sim.
 Não, em nenhuma situação.

5) Você acha que a forma de apresentação dos conteúdos foi:

- Excelente
 Boa
 Indiferente
 Inadequada
 Péssima

6) Você acha que o envolvimento dos componentes do grupo para realização das atividades foi:

- Excelente
 Bom
 Razoável
 Ruim
 Péssimo

E - CD COM MENU INTERATIVO COMPOSTO POR TODO MATERIAL DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

